

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA DALLA CORTE

**METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM PROJETOS DE
REDUÇÃO DE EMISSÕES DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO
FLORESTAL (REDD)**

CURITIBA

2010

ANA PAULA DALLA CORTE

**METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM PROJETOS DE
REDUÇÃO DE EMISSÕES DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO
FLORESTAL (REDD)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

**Orientador:
Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta**

**Co-orientadores:
Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner
Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot**

CURITIBA

2010

Ficha catalográfica elaborada por: Tânia de Barros Baggio – CRB9/760

Dalla Corte, Ana Paula

Metodologia para detecção de mudanças em projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD) / Ana Paula Dalla Corte – Curitiba, 2010.
146 f.: il. (algumas color.); 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Co-orientador: Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner
Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui bibliografia

Área de Concentração: Manejo Florestal

1. Manejo Florestal. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Teses. I. Sanquetta, Carlos Roberto. II. Kirchner, Flávio Felipe. III. Rosot, Nelson Carlos. IV. Título.

CDD - 634.9
CDU – 634.0.6

APROVAÇÃO

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANA PAULA DALLA CORTE, filha de Luiz Dalla Corte e Ilda Lago Dalla Corte, nasceu em São Domingos, Estado de Santa Catarina, no dia 25 de julho de 1980. Começou o 1º grau no Colégio Estadual João Roberto Moreira, onde concluiu o 1º grau em 1994. Começou o 2º grau no Colégio Bom Jesus e concluiu o 2º grau no Colégio Terceiro Milênio em 1997, em Curitiba. Em 1999 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, terminando-o em 2003. Durante o curso foi bolsista durante 4 anos Programa Especial de Treinamento – PET.

Em maio de 2004, ingressou no Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná para a realização do Mestrado em Ciências Florestais, Área de Concentração Manejo Florestal. Em abril do mesmo ano recebeu uma bolsa CNPq em nível de mestrado e em abril de 2005 defendeu sua dissertação.

Em abril de 2004 foi aprovada em concurso para professor substituto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, onde ministrou aulas da disciplina de Fotogrametria e Fotointerpretação para o Curso de Engenharia Florestal até o ano de 2006.

É professor em cursos de especialização da Universidade Federal do Paraná e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná na área de Geotecnologias aplicadas ao Meio Ambiente. É professor de vários cursos de formação rápida pela Universidade Federal do Paraná.

Iniciou o doutorado em março de 2006 no Curso de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração Manejo Florestal. Em abril do mesmo ano recebeu uma bolsa CNPq em nível de doutorado.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Carlos Roberto Sanquetta pelo grande confiança em mim depositada e pelas oportunidades sempre oferecidas. Também ao meu co-orientador Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner pelo grande apoio, incentivo durante minha jornada e pela amizade. Ao Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot pelo apoio e incentivo a este trabalho.

Agradecimentos aos Professores: Dr. Jorge Centeno (UFPR), Dr. João Cortez (CEFET-GO), M.Sc. Sidney de Oliveira Dias (CEFET-GO), Dr. Paulo de Tarso de Lara Pires (UFPR), Dr. João Carlos Garzel L. da Silva (UFPR), Dr. Graciela Muniz (UFPR), Dr. Henrique Soares Koehler (UFPR), Dr. William Thomaz Wendling (UFPR), Dr. Sebastião Amaral Machado (UFPR), e Dr. Sylvio Pellico Netto (PUC-PR) pelo grande incentivo, amizade, apoio em diversos momentos e por terem acreditado em minha capacidade.

Aos colegas de estudo e amigos: Ludmila Profumo, Flora Osaki, Arthur L. da Fonseca Machado, Fernando Luís Dlugosz, Sydney de Oliveira Dias, João Cortez, Erico Emed Kauano, Saulo Jorge Téó, Francelo Mognon, Lucila de Almeida Vasques Fernandes, Mauricio Bergamini Scheer e Saulo Henrique Weber.

A minha família um especial agradecimento pelo companheirismo e apoio em todos os momentos. Um agradecimento especial a minha mãe, Ilda Lago Dalla Corte, pela educação, ética e pela batalha para que hoje eu conseguisse concretizar mais este sonho.

Ao meu marido Alan Sulato de Andrade pelo amor, paciência e confiança sempre, em todos os momentos. Muito obrigada!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudo concedida.

A todos que contribuíram de alguma forma. Muito Obrigada!

*“Chaque atome de silence est la
chance d’un fruit mûr”*

“Cada átomo do silêncio é oportuno ao
fruto maduro”

Simone Beauvoir

RESUMO

O desmatamento nas florestas tropicais vem sendo cada vez mais abordada em discussões mundiais sobre as mudanças climáticas face a magnitude das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) que representam. No Brasil 75% destas são provenientes do desmatamento florestal, principalmente na região amazônica. Nas negociações mundiais tem-se discutido o subsídio para países que Reduzirem as Emissões de GEE provenientes do Desmatamento e Degradação florestal (REDD). Desta forma, este trabalho visou propor uma metodologia para detectar automaticamente as mudanças na cobertura florestal para aplicação em projetos de REDD - *Reducing Emissions for Deforestation and Forest Degradation*. Para tanto testou o desempenho das bandas 3, 4 e 5 do sensor Landsat 5, para dois momentos (ano de 1989 e ano de 2009) bem como, os índices de vegetação NVDI e EVI e as primeiras e segundas componentes principais das bandas (1, 2, 3, 4 e 5). Para o desenvolvimento da rotina foram consideradas classes de mudanças: acréscimo de vegetação de porte florestal e decréscimo de vegetação de porte florestal e, ainda, as classes de não mudanças e não florestas. Para a avaliação dos limiares de mudanças utilizaram-se os princípios da distribuição normal, explicada pela média e desvio-padrão das distâncias dos pixels das duas datas avaliadas em relação a reta de não mudança e não florestas. O desempenho na identificação das mudanças da cobertura florestal para as bandas originais testadas foi: banda 3 (Precisão Global - $Q = 76,5\%$ e Coeficiente Kappa - $K = 0,62$) teve desempenho superior às bandas 5 e 4 ($Q = 70,2$ e $58,3\%$ e $K = 0,52$ e $0,30$, respectivamente) no que tange a vegetação florestal, apresentando, no entanto confusão em relação a alguns corpos hídricos. Os dois índices de vegetação (NDVI e EVI) não apresentaram diferenças no desempenho da detecção das mudanças florestais. Os indicadores de desempenho para estas situações avaliadas foram $Q = 74,1\%$ para o NDVI e $74,7\%$ para o EVI e $K = 0,60$ e $0,61$ respectivamente. O desempenho da 1ª e 2ª componente principal indicou o muito bom desempenho da primeira ($Q = 80,9\%$ e $K = 0,70$) e o razoável/mau desempenho da segunda ($Q = 54,6\%$ e $K = 0,23$) para a detecção das mudanças da cobertura florestal. De forma, geral, entre as técnicas testadas, pode-se dizer que como exceção da banda 4 e 2ª componente principal, todas apresentaram índice de acerto global superior a 60% e coeficiente Kappa acima de 0,5, indicando desta forma, resultados satisfatórios. Existe potencial para a utilização da detecção de mudanças de maneira automática para o satélite Landsat 5 através da rotina desenvolvida, para o monitoramento de projetos de REDD, principalmente na utilização da 1ª componente principal e banda 3, com acertos globais superiores a 75%. No entanto, estas apresentaram deficiências pela inclusão de mudanças nos recursos hídricos juntamente com as mudanças de vegetação e deste modo, quando da sua utilização, é necessária uma avaliação criteriosa do técnico ou o desenvolvimento de uma máscara para exclusão destes da avaliação. Caso a máscara seja desenvolvida, o acerto global deverá ser superior aos aqui apresentados.

Palavras-chaves: REDD, monitoramento automático, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Tropical deforestation has been more and more commented worldwide in climate change discussions on account of the magnitude that greenhouse gases emissions (GEE) represent. In Brazil, 75% of these emissions come from deforestation, mainly in the Amazon region. In international negotiations the subsidy for countries which reduce the greenhouse gases emissions from deforestation and forest degradation (REDD) has been discussed. So, this thesis aimed at proposing a methodology to automatically detect the changes in the forest cover to apply it to Reducing Emissions for Deforestation and Forest Degradation (REDD) projects. Therefore, the sensor Landsat 5 performance of bands 3, 4 and 5 was tested in two different periods (1989 and 2009) as well as enhanced vegetation indexes NVDI and EVI and the first and second main components of the bands (1, 2, 3, 4 e 5). The following changing classes were considered to develop the routine: increase and loss of forest vegetation and, still, the non-change and non-forest classes. To evaluate the changes the normal frequency distribution principles were applied, explained by the mean and standard deviation of the pixels distance from the two evaluated dates regarding to non-change and non-forest figures. The performance in indentifying forest cover changes in the tested original bands were: band 3 (Q=76.5% and K=0.62) had a higher performance than bands 5 and 4 (Q=70.2 and 58.3% and K=0.52 and 0.30, respectively) regarding to forest vegetation, causing misinterpretation with some river attributes. The two enhanced vegetation indexes (NDVI and EVI) did not show any difference on their performance regarding to forest changes detection. The performance indexes used were: Q=74.1% for NDVI and 74.7% for EVI and K=0.60 and 0.61, respectively. The performance of the first and second principal component showed a very good performance for the first (Q=80.9% and K=0.23) and a reasonable/bad performance for the second (Q=54.6% and K=0.23) regarding detection of forest cover changes. In general, it can be said, in accordance with the techniques tested, that excepting band 4 and the second principal component, all of them showed global accuracy index higher than 60% and Kappa coefficient above 0.5, which indicates satisfactory results. There is a potential to utilize the automatic detection from Landsat 5 satellite imagery through the developed routine for monitoring REDD projects, mainly using the first main component and band 3, within global accuracy higher than 75%. However, it is noteworthy the misinterpretation of changes in river characteristics and forest vegetation changes. Thus, it is necessary a accurate technical evaluation of each situation and the development of a mask to exclude the rivers from the interpretation, that will make the global accuracy of the routine becomes much higher in monitoring REDD projects.

Key-words: REDD, automatic monitoring, remote sensing.

RESUMEN

La deforestación de las selvas tropicales es un tema cada vez más abordado en las discusiones mundiales sobre cambio climático, en función de lo que representa la magnitud de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En Brasil, 75% de estas emisiones provienen de la deforestación, principalmente de la región amazónica. En las negociaciones mundiales, se ha discutido el subsidio a países que Reduzcan las Emisiones de GEI provenientes de la Deforestación y la Degradación forestal (REDD). Siendo así, el presente trabajo propone una metodología para detectar automáticamente los cambios en la cobertura forestal para su aplicación en proyectos REDD. Para ello, se probaron el desempeño de las bandas 3, 4 y 5 del censor Landsat 5, para dos momentos (1989 y 2009), así como, los índices de vegetación NVDI y EVI y el primer y segundo componente principal de las bandas (1, 2, 3, 4 y 5). Para el desarrollo de la rutina fueron consideradas clases de cambio: incremento de vegetación forestal y disminución de vegetación forestal, así como, clases sin cambios y clases no forestales. Para la evaluación de los límites de las clases de cambios, se utilizaron los principios de la distribución normal, explicada por la media del desvío-estándar de las distancias de los píxeles de las dos fechas en relación a la recta sin cambios y no forestales. La eficiencia en la identificación de cambios en la cobertura forestal utilizando las bandas originales probadas, fue superior para la banda 3 ($Q = 76,5\%$ y $K = 0,62$) que para las bandas 5 y 4 ($Q = 70,2$ y $58,3\%$; $K = 0,52$ y $0,30$, respectivamente) en lo referente a la vegetación forestal, presentando, sin embargo, confusión en lo relativo a algunos cuerpos de agua. Los dos índices de vegetación (NDVI y EVI) no mostraron diferencias en lo que respecta a la eficacia en la detección de cambios en la cobertura forestal. Los indicadores de desempeño de éstas fueron: $Q = 74,1\%$ para NDVI y $74,7\%$ para EVI, y $K = 0,60$ y $0,61$, respectivamente. El desempeño de la 1ª y de la 2ª componente principal, indicaron una eficacia muy buena de la primera ($Q = 80,9\%$ y $K = 0,70$) y una razonable/mala eficacia de la segunda ($Q = 54,6\%$ y $K = 0,23$), para la detección de cambios en la cobertura forestal. De manera general, entre las técnicas probadas, se puede decir que, a excepción de la banda 4 y de la 2ª componente principal, todas presentaron un índice de acierto global superior al 60% y un coeficiente Kappa arriba de 0,5, indicando de esta forma, resultados satisfactorios. Existiendo entonces, potencial para la utilización en la detección de cambios en forma automática, con el satélite Landsat 5, a través de la rutina desarrollada, para el monitoreo de proyectos de REDD, principalmente en la utilización de la 1ª componente principal y de la banda 3, con aciertos globales superiores al 75%. Sin embargo, las mismas presentaron deficiencias debido a la inclusión de modificaciones en los recursos hídricos conjuntamente con las modificaciones en la vegetación y de ese modo, en cuanto a su utilización se hace necesaria una evaluación criteriosa por parte del técnico o el desarrollo de una máscara para la exclusión de éstos últimos, de la evaluación. Si la máscara fuere desarrollada, el acierto global deberá ser superior a los aquí presentados.

Palabras clave: REDD, monitoreo automático, detección remota.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
1.3 HIPÓTESE.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 O PAPEL DO SENSORIAMENTO REMOTO NOS ESTUDOS DA VEGETAÇÃO.....	5
2.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM O DOSSEL DA VEGETAÇÃO.....	6
2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO EM SENSORES ÓPTICOS.....	10
2.4 DETECÇÃO DE MUDANÇAS VIA SENSORES REMOTOS.....	16
2.5 TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	20
2.5.1 Imagem Diferença.....	20
2.5.2 Análise de Componentes Principais.....	21
2.5.3 Comparação de Classificação de Imagens.....	23
2.5.4 Análise de Vetores de Mudanças.....	23
2.5.5 Rotação Radiométrica Controlada.....	24
2.6 MONITORAMENTOS AMBIENTAIS DE LARGA ESCALA COM BASE NO SENSORIAMENTO REMOTO.....	25
2.7 REDUÇÃO DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL – REDD.....	29
2.8 OS PROJETOS DE REDD NO MUNDO, AMÉRICA LATINA E BRASIL	34
2.9 SEÇÕES DOS PROJETOS DE REDD.....	37
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.1.1 Localização.....	42
3.1.2 Vegetação Natural.....	43
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	43
3.2.1 Produtos Cartográficos e Imagens.....	44

3.2.1.1 Mapas Temáticos.....	44
3.2.1.2 Imagens de Satélite.....	44
3.2.2 Equipamentos de Processamento e Aplicativos.....	45
3.3 METODOLOGIA.....	46
3.3.1 Processamento das Imagens de Satélite.....	46
3.3.1.1 Sistema de Processamento Base das Imagens.....	46
3.3.1.1.1 Correção Geométrica da Imagem.....	46
3.3.1.1.2 Recorte da Imagem para a área de Abrangência.....	47
3.3.1.1.3 Conversão dos Números Digitais para Radiância/Reflectância.....	48
3.3.1.2 Geração das Imagens Índice de Vegetação.....	50
3.3.1.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI.....	50
3.3.1.2.2 Índice de Vegetação Realçado – EVI.....	51
3.3.1.3 Geração das 1ª e 2ª Componentes Principais.....	52
3.3.2 Desenvolvimento do Mapa Referência ou Testemunha.....	53
3.3.3 Desenvolvimento e Aplicação do Algoritmo de Detecção de Mudanças.....	54
3.3.3.1 Avaliação das Classes de Interesse.....	54
3.3.3.2 Ajuste da Reta de Não Mudança e Outros Usos.....	55
3.3.3.3 Aplicação do Cálculo das Distâncias para duas Imagens....	56
3.3.3.4 Detecção dos Limiares das Classes.....	56
3.3.3.5 Aplicação do Filtro de Média.....	57
3.3.3.6 Avaliação do Desempenho dos Algoritmos.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1 CONFEÇÃO DO MAPA REFERÊNCIA.....	64
4.2 CHECAGEM EM CAMPO DA SITUAÇÃO ATUAL DAS ÁREAS.....	65

4.3 DESENVOLVIMENTO DOS ALGORITMOS DE NÃO MUDANÇAS E NÃO FLORESTAL.....	72
4.4 APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE DETECÇÃO DE MUDANÇA NA COBERTURA FLORESTAL PARA PROJETOS DE REDD.....	80
4.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM ÁREAS DA DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	97
5. CONCLUSÕES.....	102
6. RECOMENDAÇÕES.....	104
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
8. ANEXOS.....	120
8.1 ANEXO 1 – IMAGENS UTILIZADAS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	120
8.2 ANEXO 2 – MAPA TESTEMUNHA DAS MUDANÇAS NA COBERTURA FLORESTAL.....	135
8.3 ANEXO 3 - ROTINA PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	137
8.4 ANEXO 4 - DESEMPENHO DAS ANÁLISES DE MUDANÇAS EM RELAÇÃO A TESTEMUNHA	139

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO-ELETROMAGNÉTICO E REGIÃO DO VISÍVEL.....	8
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO.....	9
FIGURA 3 – CORTES TRANSVERSAL E LONGITUDINAL DE UMA FOLHA MOSTRANDO AS CAMADAS CONSTITUINTES.....	10
FIGURA 4 – COMPORTAMENTO ESPECTRAL MÉDIO DA VEGETAÇÃO NO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	12
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇA NA TÉCNICA DA IMAGEM DIFERENÇA.....	21
FIGURA 6 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE COMPONENTE PRINCIPAL NO MODO (1).....	22
FIGURA 7 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE COMPONENTE PRINCIPAL NO MODO (2).....	22
FIGURA 8 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA COMPARAÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS.....	23
FIGURA 9 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DO VETOR DE MUDANÇA.....	24
FIGURA 10 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ROTAÇÃO RADIOMÉTRICA CONTROLADA.....	25
FIGURA 11 – PROJETOS DE REDD EXISTENTES NA AMÉRICA LATINA....	35
FIGURA 12 – ABRANGÊNCIA DA ÁREA SELECIONADA PARA O ESTUDO.	42
FOTO 1 E 2 - PONTO 1 - COORDENADAS X: 315.059 E Y: 7.184.260.....	66
FOTO 3 E 4 - PONTO 2 - COORDENADAS X: 303.582 E Y: 7.176.767.....	66
FOTO 5 E 6 - PONTO 3 - COORDENADAS X: 301.329 E Y: 7.176.3582.	66
FOTO 7 E 8 - PONTO 4 - COORDENADAS X: 301.632 E Y: 7.175.310.....	67
FOTO 9 E 10 - PONTO 5 - COORDENADAS X: 316.026 E Y: 7.177.027.....	67
FOTO 11 E 12 - PONTO 6 - COORDENADAS X: 315.167 E Y: 7.173.949.....	68
FOTO 13 E 14 - PONTO 7 - COORDENADAS X: 316.688 E Y: 7.175.307.....	68
FOTO 15 E 16 - PONTO 8 - COORDENADAS X: 312.037 E Y: 7.172.631.....	68
FOTO 17 E 18 – PONTO 9 – COORDENADAS X: 313.307 E Y: 7.171.752.....	68
FOTO 19 E 20 - PONTO 10 - COORDENADAS X: 311.298 E Y: 7.168.142....	69
FOTO 21 E 22 - PONTO 11 - COORDENADAS X: 313.389 E Y: 7.175.382....	69
FOTO 23 E 24 - PONTO 12 - COORDENADAS X: 313.606 E Y: 7.176.425....	69
FOTO 25 E 26 - PONTO 13 - COORDENADAS X: 320.022 E Y: 7.181.186....	70

FOTO 27 E 28 - PONTO 14 - COORDENADAS X: 322.623 E Y: 7.170.806....	70
FOTO 29 E 30 - PONTO 15 - COORDENADAS X: 328.623 E Y: 7.172.687....	70
FOTO 31 E 32 - PONTO 16 - COORDENADAS X: 318.140 E Y: 7.175.339....	71
FOTO 33 E 34 - PONTO 17 - COORDENADAS X: 301.948 E Y: 7.173.826....	71
FOTO 35 E 36 - PONTO 18 - COORDENADAS X: 314.530 E Y: 7.169.730....	71
FIGURA 13 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA A BANDA 3 NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	75
FIGURA 14 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA A BANDA 4 NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	75
FIGURA 15 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA A BANDA 5 NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	76
FIGURA 16 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EVI NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	76
FIGURA 17 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	77
FIGURA 18 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA A PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	77
FIGURA 19 - AMOSTRAS DAS CLASSES PARA A SEGUNDA COMPONENTE PRINCIPAL NAS DUAS DATAS AVALIADAS (1989-2009).....	78
FIGURA 20 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DA BANDA 3.....	79
FIGURA 21 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DA BANDA 4.....	79
FIGURA 22 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DA BANDA 5.....	79
FIGURA 23 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI.....	79
FIGURA 24 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EVI.....	79
FIGURA 25 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DA 1ª COMPONENTE PRINCIPAL.....	79
FIGURA 26 - AJUSTE DA EQUAÇÃO REDUZIDA DA RETA PARA AS AMOSTRAS DA 2ª COMPONENTE PRINCIPAL.....	80
FIGURA 27 - HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA A BANDA 3.....	82
FIGURA 28 - HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA A BANDA 4.....	82
FIGURA 29 - HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA A BANDA 5.....	82

FIGURA 30 – HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI.....	82
FIGURA 31 – HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EVI.....	82
FIGURA 32 – HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA A 1ª COMPONENTE PRINCIPAL.....	82
FIGURA 33 – HISTOGRAMA DAS DISTÂNCIAS EM RELAÇÃO A RETA AJUSTADA PARA A 2ª COMPONENTE PRINCIPAL.....	83
FIGURA 34 – REPRESENTAÇÃO DOS LIMIARES ENCONTRADOS PARA CADA UMA DAS DISTRIBUIÇÕES AVALIADAS.....	84
FIGURA 35 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DA BANDA 3 - (A) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES.....	90
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DA BANDA 4 - (A) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES.....	91
FIGURA 37 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DA BANDA 5 - (A) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES.....	92
FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI - (A) IMAGEM NDVI RESULTANTE DAS BANDAS DO SENSOR LANDSAT 5, TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM NDVI RESULTANTE DAS BANDAS DO SENSOR LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES...	93
FIGURA 39 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EVI - (A) IMAGEM EVI RESULTANTE DAS BANDAS DO SENSOR LANDSAT 5, TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM EVI RESULTANTE DAS BANDAS DO SENSOR LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES...	94

FIGURA 40 – REPRESENTAÇÃO DAS 1ª COMPONENTE PRINCIPAL (CP)	
- (A) IMAGEM DA 1ª CP RESULTANTE DA IMAGEM DO LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM DA 1ª CP RESULTANTE DA IMAGEM DO LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES.....	95
FIGURA 41 – REPRESENTAÇÃO DAS IMAGENS DA 2ª COMPONENTE PRINCIPAL (CP) - (A) IMAGEM DA 2ª CP RESULTANTE DA IMAGEM LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 1989; (B) IMAGEM DA 2ª CP RESULTANTE DA IMAGEM LANDSAT 5, SENSOR TM DO ANO DE 2009; (C) IMAGEM BRUTA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES; (D) IMAGEM FILTRADA RESULTANTE DA CLASSIFICAÇÃO COM BASE NOS DESVIOS PADRÕES...	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– SENSORES UTILIZADOS POR ALGUMAS PROVÍNCIAS DO CANADÁ.....	28
TABELA 2	– MÉDIA DA TAXA DE DESMATAMENTO EM REGIÕES COM FLORESTAS TROPICAIS (10 ⁶ HA/ANO).....	30
TABELA 3	– RESUMO DOS PROJETOS DE REDD NO BRASIL.....	37
TABELA 4	– DESCRIÇÃO DAS SEÇÕES DOS PROJETOS NO MODELO CCBA.....	38
TABELA 5	– CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE UTILIZADO NO TRABALHO.....	45
TABELA 6	– SITUAÇÕES POSSÍVEIS DE OCORRÊNCIA COM A APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO COM A REFERÊNCIA.....	61
TABELA 7	– RELAÇÃO ENTRE OS VALORES DO COEFICIENTE KAPPA E O DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO.....	62
TABELA 8	– PARAMETROS UTILIZADOS PARA A INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS IMAGENS.....	64
TABELA 9	– ÁREAS TESTEMUNHAS PARA AS CLASSES DE USO PARA OS ANOS DE 1989 E 2009.....	65
TABELA 10	– NÚMEROS DIGITAIS DAS AMOSTRAS UTILIZADAS PARA OS AJUSTES DAS EQUAÇÕES DE NÃO-MUDANÇAS.....	73
TABELA 11	– RESULTADO DOS AJUSTES DAS EQUAÇÕES REDUZIDA E GERAL DA RETA PARA AS SITUAÇÕES AVALIADAS.....	81
TABELA 12	– CARACTERÍSTICAS DOS LIMIARES TESTADOS E LEGENDA PARA CADA SITUAÇÃO AVALIADA.....	84
TABELA 13	– PONTO CENTRAL DAS PARCELAS CIRCULARES DE 150 HECTARES (RAIO = 690,99 M).....	97
TABELA 14	– MATRIZ DE CONFUSÃO, ACERTO GLOBAL, EXATIDÃO DO USUÁRIO, EXATIDÃO DO PRODUTOR E COEFICIENTE KAPPA.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	- Reflectância na banda referente ao azul
C1 e C2	- Coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha em função do espalhamento atmosférico por aerossóis
CCBA	- Aliança Clima, Comunidade e Biodiversidade
CIMGC	- Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
COP	- Conferência das Partes à CQNUMC
CP	- Componente Principal
$E_{in(i)}$	- Erro de inclusão
$E_{om(i)}$	- Erro de omissão
<i>EVI</i>	- Índice de Vegetação Realçado
FAO	- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GEE	- Gases Efeito Estufa
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
K	- Coeficiente Kappa
L	- Fator de ajuste para os solos
LBA	- Projeto de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
ND	- Número Digital
<i>NDVI</i>	- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
<i>NIR</i>	- Reflectância na banda referente ao infravermelho próximo
PDI	- Processamento Digital de Imagens
PRODES	- Programa de monitoramento da Amazônia
Q	- Precisão global
<i>R</i>	- Reflectância na banda referente ao vermelho
REDD	- Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal
REDD+	- Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal, manejo florestal sustentável, conservação e aumento dos estoques de carbono
RMS	- Erro médio quadrático
TM	- Mapeamento Temático
UNFCCC	- Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UN-REDD	- Programa Colaborativo das Nações Unidas para Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal em Países em Desenvolvimento
UTM	- Sistema Universal Transverso de Mercator
σ	- Desvio Padrão
L_{λ}	- Radiância espectral

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que o desmatamento nas florestas tropicais e a degradação destas florestas representem entre 25 e 30% das emissões mundiais de carbono produzidas por ações antrópicas durante os anos 90 (MOUTINHO e SCHWARTZMAN, 2005). O desmatamento global é estimado em 13 milhões de hectares por ano no período de 1990-2005 (FAO, 2005). O IPCC estima que as emissões somente nos anos 90 tenham atingido 5,8 Gt CO₂/ano. Segundo AEA (2009) os dados mais recentes mostram que as emissões globais de CO₂ aumentaram quatro vezes mais depressa desde 2000 do que na década anterior. Este aumento está acima do pior cenário relatado pelo Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC, 2007) em 2007. Assim, o IPCC apontou a redução ou prevenção do desmatamento global como uma opção de mitigação de impacto imediato e de curto prazo em relação a liberação de carbono para a atmosfera.

Alguns países do Anexo 1 do Protocolo de Quioto, como: França, Grécia, Suécia e Reino Unido já alcançaram as suas metas em 2006. A Áustria, Bélgica, Finlândia, Alemanha, Irlanda, Luxemburgo, Holanda e Portugal projetaram que iriam atingir as suas metas, mas as projeções da Dinamarca, Itália e Espanha indicam que eles não conseguirão atingir os seus objetivos na redução das emissões (AEA, 2009).

Alguns países ainda não possuem metas de redução de emissões de GEE neste primeiro período de compromisso para o Protocolo de Quioto (2008-2012), como é o caso do Brasil. Entretanto, as emissões provenientes de mudanças no uso da terra no Brasil, são responsáveis por cerca de 75% das emissões totais de GEE deste país (MCT, 2004). Assim, toda a emissão proveniente de combustíveis fósseis e fontes emissoras correspondem apenas a um terço das emissões brasileiras.

Grande parte destas mudanças está localizada na Amazônia Brasileira. Conforme INPE (2008) o Programa de monitoramento da Amazônia (PRODES) indicou uma taxa anual de corte raso na Amazônia Legal brasileira para o período 2007/2008 de 11.968 km², o que representaria um aumento de 3,8% em relação ao mesmo período de 2006/2007. Destes, a avaliação amostral constatou que, no período 2007/2008, 38% de seus alertas corresponderam a corte raso, 48% a degradação florestal e 14% a alertas não confirmados.

Pelos fatos apontados acima, durante as Conferências das Partes (COP), cada vez tem-se discutido a possibilidade de inserção formal das florestas nativas dentro da Convenção em Mudanças do Clima (UNFCCC) para o pós 2012. Desta forma, os países poderiam ter subsídios para a redução de desmatamento e degradação de florestas.

O Brasil é um forte candidato para participação em um programa de REDD tendo em vista os estoques de remanescentes florestais existentes em seu território. Entretanto, o monitoramento periódico e contínuo vem acontecendo apenas na região Amazônia e outras poucas iniciativas isoladas dentro do território Brasileiro.

Apesar do constante desenvolvimento de novas geotecnologias que tem possibilitado avaliações mais rápidas e precisas sobre os recursos ambientais, existe ainda hoje algumas dificuldades para serem sanadas. Entre as principais dificuldades observadas está principalmente a falta de mão-de-obra qualificada para tratamento das imagens de satélite com entendimento das características florestais tendo em vista as grandes áreas de abrangência e a magnitude do território Brasileiro. Por outro lado, é uma tendência a disponibilização de imagens de satélite e softwares de processamento digital de imagens (PDI) gratuitos.

Ademais, quando falamos em detecções de mudanças na cobertura florestal, em geral, pensasse em classificações digitais das imagens para diferentes datas para posteriormente realizar as comparações entre as mesmas. Em geral, classificações digitais custam e demoram demasiado tempo para uma correta informação da realizada.

Diante desta realidade, este trabalho visou propor uma metodologia que permita a detecção automática das mudanças na cobertura florestal para aplicação em projetos de REDD – Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi a proposição de uma metodologia automatizada para a detecção da linha de base e posterior monitoramento da cobertura florestal em projetos de REDD - Redução de Emissões do Desmatamento e da Degradação Florestal.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar o desempenho das imagens do satélite Landsat 5 para a detecção de Mudanças na Cobertura Florestal em projetos de REDD.
- Propor um Algoritmo de Detecção de Mudanças na Cobertura Florestal para projetos de REDD.
- Testar o desempenho das bandas, índices de vegetação e componentes principais utilizando o Algoritmo de Detecção de Mudanças proposto para detectar as Mudanças na Cobertura Florestal com enfoque em um projeto REDD.
- Programar a rotina do algoritmo para cômputo automático das áreas de mudanças na Cobertura Florestal para disponibilização e aplicação desta em projetos de REDD.

1.3 HIPÓTESE

A hipótese testada nesta tese é que o monitoramento dos projetos de REDD pode se dar de forma automática através da adoção de materiais e técnicas específicas de sensoriamento remoto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O PAPEL DO SENSORIAMENTO REMOTO NOS ESTUDOS DA VEGETAÇÃO

Muitos são os autores que realizaram estudos da vegetação através de dados dos sensores remotos, seguindo as orientações dos trabalhos desenvolvidos por GATES *et al.* (1965) GAUSMANN *et al.* (1969) e MYERS (1970) sobre a relação dos pigmentos foliares e a refletância da folhas. Também, observando as literaturas que tratam do assunto, pode-se perceber que houve uma grande evolução na quantidade e qualidade dos dados provenientes dos sensores remotos nas últimas décadas.

Para PONZONI (2002), a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação tem quatro diferentes níveis possíveis de coleta de dados, sendo eles: em laboratório, em campo, no nível de aeronave e no nível orbital. Em laboratório, utilizam-se radiômetros aos quais podem ser acoplados acessórios que permitem a coleta e o registro da radiação refletida de folhas e demais órgãos das plantas, bem como de conjuntos de plantas visando identificar possíveis alterações na forma como esses órgãos interagem com a radiação eletromagnética. Em campo, novamente radiômetros são utilizados, os quais são normalmente posicionados a alguns metros acima de um plantio agrícola ou do topo de um dossel florestal com objetivo semelhante àquele mencionado para a análise dos dados coletados em laboratório. No nível de aeronave, diferentes sensores podem ser utilizados concomitantemente na geração de curvas espectrais ou de imagens. Finalmente no nível orbital é que se concentram as aplicações mais comumente divulgadas na comunidade em geral, as quais incluem a geração e utilização de imagens na

elaboração de mapas temáticos e/ou na avaliação espectral da cobertura vegetal de extensas áreas da superfície terrestre.

Ainda PONZONI (2002) complementa que a principal motivação dos estudos em vegetação envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto, fundamenta-se na compreensão da “aparência” que uma dada cobertura vegetal assume em um determinado produto de sensoriamento remoto, a qual é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais.

Ainda, cabe destacar outro aspecto importante que diz respeito à dificuldade que muitas vezes é encontrada para realizar os mapeamentos florestais tendo em vista as extensões das áreas, a limitação de acesso e a heterogeneidade muitas vezes encontrada nas mesmas.

2.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM O DOSSEL DA VEGETAÇÃO

Quando se fala em estudar a vegetação de uma região da superfície terrestre via sensores remotos, um dos primeiros entendimentos que precisa estar claro é a interação da energia solar com a comunidade de plantas. Assim, estudo como os apresentados por GATES *et al.* (1965) GAUSMANN *et al.* (1969), MYERS (1970) e PHILPOTT (1971) são pioneiros neste sentido.

Deve-se também considerar que o dossel de uma vegetação de porte florestal é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como: folhas, galhos, frutos, flores, etc.

O dossel vegetativo é o conjunto de todas as copas da vegetação, numa determinada área, independente da espécie. Outra definição de dossel vegetativo ou da vegetação seria tudo aquilo que compõe a parte aérea de uma comunidade de plantas e que, portanto, está envolvido diretamente com as interações da energia solar (ASSUNÇÃO e FORMAGGIO, 1989). Um dossel é caracterizado pelos seus componentes, sua organização e sua estrutura.

No que se refere ao dossel, o arranjo das folhas influencia a interação da radiação eletromagnética com as plantas. Em particular, a fotossíntese e a produção são determinadas pela distribuição de luz dentro do dossel e, portanto, pelo azimute, inclinação e distribuição espacial das folhas (GOEL e STREBEL, 1984). De acordo com GOEL (1988), são muitos os fatores que determinam a reflectância do dossel: fluxo solar incidente, propriedades espectrais dos elementos da vegetação (folhas, galhos, troncos), arquitetura do dossel e espalhamento pelo solo.

A resposta espectral da cobertura vegetal que chega a um sensor é resultante de uma complexa interação, com elevada dependência das características espectrais do solo de fundo (HUETE, 1988), principalmente em dosséis parcialmente abertos, onde a radiação pode atingir diretamente o solo. As propriedades ópticas do solo são função de sua composição mineral, umidade, conteúdo de matéria orgânica e a rugosidade de superfície. É importante salientar que mesmo sendo uma comunidade bastante homogênea, sempre há outros tipos de vegetação que ocupam o estrato inferior do solo e que disputam com as plantas predominantes, em certas fases do ciclo de crescimento e desenvolvimento, água e nutrientes do solo.

PONZONI e SHIMABUKURO (2007) acrescentam que as discussões que se referem ao estudo, as propriedades espectrais de folhas isoladas são importantes, mas a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a radiação eletromagnética e os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações vegetais de porte herbáceo, entre outros).

De acordo com MOREIRA (2001), com a porcentagem de cobertura do solo pelas plantas, o dossel pode ser classificado em duas categorias: dossel incompleto e dossel completo. O dossel é considerado incompleto quando apresenta baixa porcentagem de cobertura do solo, como é o caso de uma cultura agrícola no início do desenvolvimento vegetativo. Nesta fase de crescimento da cultura, a energia refletida da área é composta de uma parte proveniente das plantas e outra do solo onde foi implantada. À medida que a vegetação ou a cultura atinge o seu

desenvolvimento máximo, o dossel é definido como sendo completo, correspondendo a uma cobertura vegetal próximo a 100%. Entretanto, os dosséis de certas culturas tais como: citrus e café, por exemplo, apresentam dosséis incompletos mesmo em condições de máximo desenvolvimento, pois a contribuição do solo na reflectância desses dosséis é muito grande, devido ao grande espaçamento entre plantas.

Assim, quando se deseja estudar o comportamento e a interação dos dosséis de diferentes culturas com a energia eletromagnética incidente, é importante observar o espectro-eletromagnético (Figura 1) e as respostas correspondentes as mesmas em cada região do espectro (JENSEN, 2009).

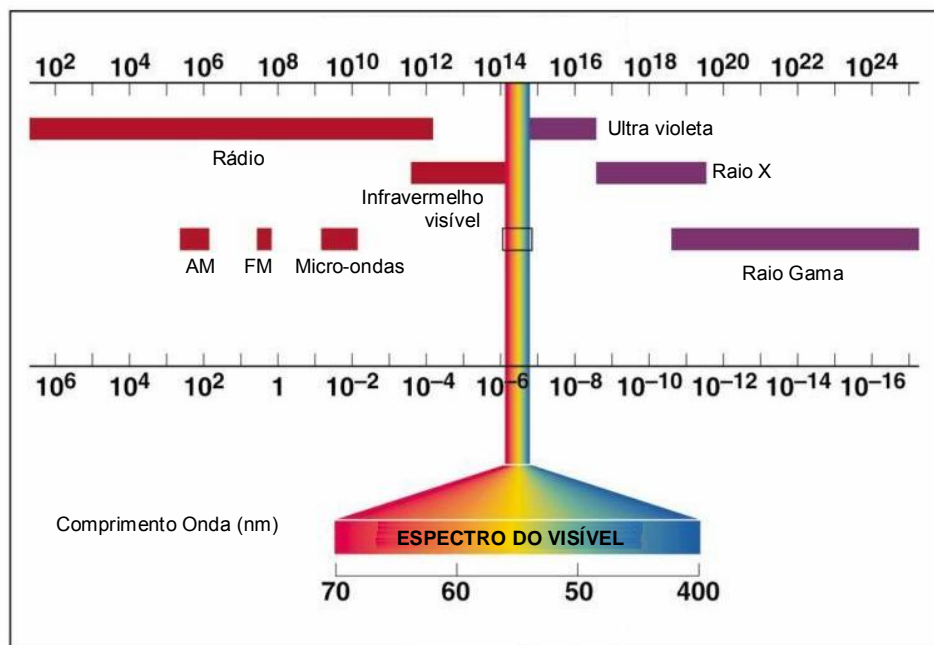


Figura 1 – Representação do espectro-eletromagnético e região do visível. Fonte: Adaptado de MOREIRA (2001).

Ainda, cabe destacar que conforme a idade das árvores e das folhas das mesmas existe uma diferenciação em termos de resposta espectral. Ainda, outros fatores também interferem no comportamento espectral dos dosséis da vegetação. Outro fator importante de ser mencionado diz respeito a quantidade de água e também o número de estratos e camadas de folhagem existente na vegetação,

conforme pode ser observado de forma representativa na Figura 2. Este fato é atestado pela afirmação de MOREIRA (2001) que menciona a certa da morfologia das folhas que compõem o dossel vegetativo e que as mesmas exercem forte influência na reflectância.

PINTER *et al.* (1985)¹ *apud* MOREIRA (2001) mediram a reflectância em dosséis e em folhas isoladas de diferentes cultivares de trigo, que tinham a mesma fitomassa e índice de área foliar verde. Os autores verificaram que, independentemente do cultivar, não houve diferença na reflectância, quando medida em folhas isoladas. Entretanto para essas mesmas cultivares, as reflectâncias foram diferentes quando medidas sobre os diferentes dosséis.

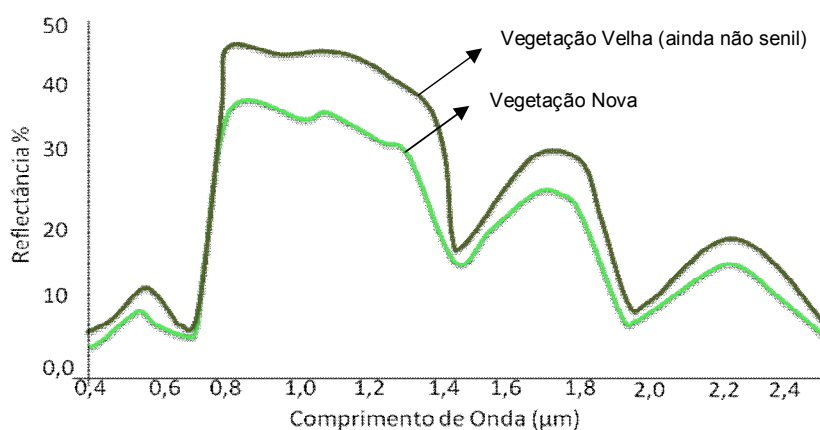


Figura 2 – Representação Esquemática do comportamento espectral da vegetação em diferentes fases de desenvolvimento. Fonte: Adaptado de MOREIRA (2001).

¹ Pinter, P. J.; Jackson, R. D.; Gausman, H. D. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 6, p. 1813-1825, 1985.

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO EM SENSORES ÓPTICOS

Conforme PONZONI e SHIMABUKURO (2007) o processo de interação entre a radiação eletromagnética com a vegetação se recorda que os vegetais realizam a fotossíntese, processo este fundamentado na absorção da radiação eletromagnética por parte dos pigmentos fotossintetizantes como as clorofilas, xantofilas e carotenos. É sabido que a absorção não ocorre indistintamente ao longo de todo o espectro eletromagnético, mas especificamente na região do visível (0,40 a 0,72 μm).

MOREIRA (2001) menciona que nos vegetais as folhas desempenham funções muito importantes, por que são basicamente nelas que se processam todas as reações fotoquímicas para a síntese dos carboidratos, além de outras reações vitais para a vida da planta, como a respiração e transpiração. Conforme apontado por NOBEL (1974)² apud MOREIRA (2001), num corte transversal de uma folha pode-se observar uma série de camadas mais ou menos paralelas, que são as cutículas: dorsal e ventral, a epiderme superior e inferior, os parênquimas: paliçádico e lacunoso, o xilema, a cavidade subestomática e os estômatos (Vide Figura 3).

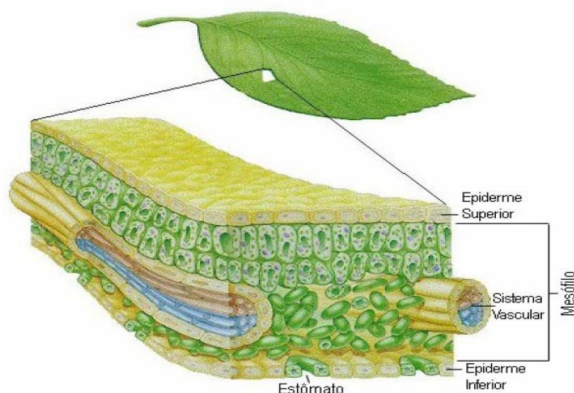


Figura 3 – Corte transversal e longitudinal de uma folha mostrando as camadas constituintes. Fonte: ACCO (2004)

² Nobel, P.S. Introduction to Biophysical Plant Physiology. WH Freeman, San Francisco. 1974. 488 pp.

A radiação solar que chega à superfície da Terra (radiação global) ao atingir a planta, interage com a mesma e resulta em três frações, a saber: uma parte dessa radiação é absorvida pelos pigmentos contidos na folha. Essa quantidade que é absorvida participa na síntese de compostos ricos em energia (fotossíntese), altera estruturas moleculares (foto-conversão), acelera reações, como por exemplo, a foto-oxidação das xantofilas ou ainda destrói estruturas de uma molécula. A parte absorvida corresponde a aproximadamente 50% do total que chega até a planta. Outra parte é refletida pelas folhas, fenômeno denominado de reflexão. Finalmente, uma terceira parte sofre o processo de transmissão, através das camadas de folhas que compõem a copa e através das camadas que constituem a folha, como a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico (MOREIRA, 2001).

MOREIRA (2001) complementa que as quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas folhas das plantas podem diferir de uma espécie para outra ou até mesmo dentro da própria espécie, porque existem, dentre outros, os fatores ambientais que influenciam direta ou indiretamente nesta interação. Entretanto, as proporções destas três componentes sempre guardam o princípio da conservação de energia, expresso pela segunda lei da termodinâmica, ou seja:

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

Onde:

Φ_i é a energia incidente;

Φ_r, Φ_a, Φ_t são os fluxos (quantidades) de energia incidente, refletida, absorvida e transmitida, respectivamente.

Dos três componentes resultantes da interação da radiação solar com a planta (reflectância, absortância e transmitância), a parte absorvida (absortância) é a de maior interesse em todas as pesquisas relacionadas à produção vegetal, inclusive para o sensoriamento remoto agrícola, porque é através da quantificação desta variável que o especialista em sensoriamento remoto poderá tirar conclusões

importantes a respeito das condições fitossanitárias de determinada cultura agrícola. Entretanto, quando se trata de sensoriamento remoto orbital ou sub-orbital, esta variável é, geralmente, estimada através, da quantificação da parte refletida, por restrições tecnológicas dos equipamentos colocados nos satélite, orbitais ou em aeronaves, que somente registram a radiação refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2001).

A região do visível compreende toda radiação eletromagnética da faixa espectral de 400 a 700 nm. A maior parte desta radiação que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo das folhas. Os pigmentos são compostos pelas clorofilas "a" e "b", em maior quantidade, e pelos carotenóides, xantofilas e antocianinas. Nesta faixa espectral, tanto a reflectância quanto a transmitância das folhas são menores do que 15%, porém a reflectância apresenta um pico máximo em 555 nm, conforme é mostrado na Figura 4.

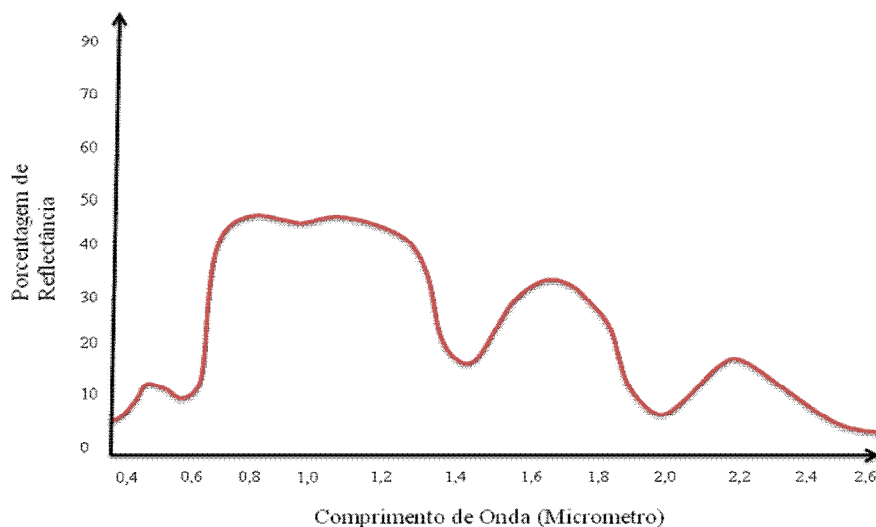


Figura 4 – Comportamento espectral médio da vegetação no espectro eletromagnético. Fonte: Adaptado de MOREIRA (2001).

NOVO (1995), realizou uma análise sobre a relação entre reflectância da folha sadia, decompondo-a em três regiões espectrais, em função dos fatores que

condicionam seu comportamento, apresentando assim as seguintes regiões: a) 0,7 μm a reflectância é baixa ($< 0,2$), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm há um pequeno aumento de reflectância. É a reflectância pela percepção da cor verde da vegetação; b) De 0,7 μm a 1,3 μm tem-se a região dominada pela alta reflectância da vegetação, devido à interferência da estrutura celular; c) Entre 1,3 μm e 2,5 μm a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas.

A fotossíntese está intimamente relacionada à quantidade de radiação eletromagnética absorvida na região dos espectros: azul e vermelho (comprimento de onda 430 e 660 nm). A reflectância de uma folha em seu estado normal ou fotossinteticamente ativa é maior do que uma folha no estado de senescência (MOREIRA, 2001).

A folha de uma árvore é verde porque ela reflete a luz verde do visível, irradiada pelo sol e absorve grande parte da radiação dos comprimentos de onda da luz azul e vermelho, a fim de transformar energia eletromagnética e produzir a fotossíntese. Diferentes materiais existentes na natureza exibem distintos comportamentos de reflectância, porque cada um absorverá ou refletirá maiores ou menores quantidades de radiação eletromagnética em função das suas diferentes constituições físicas, químicas e biológicas (MENESES, 2001).

Segundo VALERIANO (1988), além da própria complexidade da composição físico-química e biológica de materiais como solo, rochas, vegetação e água, há outros que condicionam os valores das medidas das reflectâncias dos objetos por sensores imageados. Esses fatores irão influenciar e, não raro, tornar complexa a análise e a interpretação das imagens. O termo comportamento espectral relaciona-se com as propriedades de reflectância da radiação eletromagnética do alvo, no caso, da vegetação. As folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado por sensores ópticos (COLWELL, 1974), sendo que as propriedades espectrais de uma única folha estão em função de sua composição

química, morfologia e estrutura interna. As propriedades ópticas das folhas, segundo MENESES (2001), ficam assim definidas:

Visível (400 – 700nm) - nesta faixa, as folhas têm baixa refletância (menos que 10%). Uma parte de incidência da radiação é absorvida por pigmentos das folhas tais como a clorofila, xantofila, carotenóide e antocianina. A parte responsável pela absorção do pigmento das folhas é a clorofila a qual exibe absorção em duas bandas: azul (próximo a 0,445 μ m) e vermelho (0,645 μ m). A maioria das plantas é transparente na região do verde (0,540 μ m). Conforme PONZONI e SHIMABUKURO (2007) a energia é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida fotoquimicamente em energia armazenada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese.

Infravermelho próximo (700 – 1300nm) - nesta faixa espectral os pigmentos das folhas e a celulose da parede das células são transparentes. Assim, a absorptância das folhas é muito baixa (menos que 10%) e a radiação que entra é igualmente refletida ou transmitida. A reflectância atinge cerca de 50% no platô ou no pico do infravermelho, o qual depende da estrutura interna das folhas. O nível aumenta com o número de camadas de células, o tamanho das células e orientação destas na parede. Os sistemas de pigmentos das plantas perdem a capacidade de absorver fótons nesse espectro, que é caracterizado por uma subida acentuada da curva de reflexão. O mínimo de reflexão neste comprimento de onda é causado pela mudança do índice de refração nas áreas frontais de ar/célula do mesófilo.

Infravermelho médio (1300 – 2500nm) - nesta faixa espectral, as propriedades ópticas das folhas são principalmente afetadas pelo seu conteúdo de água. A água absorve consideravelmente a radiação incidente na região espectral compreendida entre 1,3 μ m e 2,0 μ m. Esta influência aumenta com o conteúdo de água. Uma folha verde caracteriza-se, nestas bandas, pela reflexão semelhante a de uma película de água. Por isso, estes comprimentos de onda, prestam-se à determinação do conteúdo hídrico das folhas. Folhas

com conteúdo hídrico reduzido são caracterizadas por uma maior reflexão. A curva espectral depende do tipo de planta e, mais ainda, altera-se em função da estrutura e da organização celular.

Acima de 1300nm - a forte absorção de água das bandas em 1450, 1950 e 2500nm produz uma refletância mínima das folhas. Mas, entre essas bandas, a absorção de água ainda existe e afeta as propriedades ópticas das folhas. Os níveis das duas máximas relativas em 1650 e 2200nm, portanto variam de acordo com o conteúdo de água da folha.

Conforme GUYOT (1990), interpretar dados detectados por sensores remotos em dosséis de floresta exige um conhecimento adequado dos fatores que afetam suas propriedades ópticas. Estes fatores podem ser externos ou internos. Os cinco fatores externos considerados são: tamanho da área imageada, orientação e inclinação da linha central da vista, elevação do sol, nebulosidade e velocidade de vento. Já os fatores internos podem também afetar a reflectância da floresta: orientação (para florestas artificiais novas), propriedades ópticas do fundo (solo), e geometria do dossel. As propriedades ópticas de dosséis de floresta dependem das características espectrais das árvores (folhas), solo e de vegetação subjacente. O espectro da reflectância da vegetação depende das propriedades ópticas das folhas e da obscuridade.

Desta maneira, quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para obter informações a respeito da cobertura vegetal de uma região da superfície terrestre, é preciso levar em consideração a interação da energia solar com a comunidade de plantas. Em comunidades heterogêneas, o dossel vegetativo está envolvido diretamente com as interações da energia solar e é caracterizado pelos seus componentes, sua organização e sua estrutura que se dá, principalmente, através dos pigmentos contidos nas folhas (MOREIRA, 2001).

2.4 DETECÇÃO DE MUDANÇAS VIA SENSORES REMOTOS

Conforme SINGH e HARRISON (1989), detecção de mudanças é um processo de avaliação de diferenças no estado de um objeto ou fenômeno em épocas diferentes. A avaliação rigorosa das características destas mudanças fornece a base para melhor compreender as relações e interações entre os fenômenos naturais e humanos para melhor gerir e utilizar os recursos disponíveis.

Conforme MALDONADO *et al.* (2004)³ *apud* QUIRINO *et al.* (2005) as técnicas de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra se fundamentam no fato de que, tais transformações da paisagem produzem, geralmente, alterações numéricas maiores do que aquelas geradas por outros fatores que modificam a resposta espectral dos alvos nas imagens sensorizadas, como por exemplo, diferenças atmosféricas e geometria de iluminação.

É importante destacar que existem hoje diversas técnicas para a detecção de mudanças, muitas desenvolvidas com finalidades específicas, orientadas geralmente a alguns alvos e não existe consenso pela adoção de uma técnica padrão ou com melhor desempenho restando ao pesquisador e técnico a escolha daquela que melhor explique a finalidade desejada. LU *et al.* (2004) também acrescentam que ainda uma grande variedade de técnicas tem sido desenvolvida, principalmente pela importância do acompanhamento das mudanças de uso do solo.

Conforme LU *et al.* (2004), uma boa técnica de detecção de mudanças quando aplicada deverá trazer subsídios às seguintes perguntas: a) taxa de variação e mudança; b) alterações na distribuição espacial; c) precisão na avaliação da mudança; d) acompanhamento da evolução dos usos da terra. Da mesma forma, ao se implementar a técnica de detecção de mudanças estão envolvidos basicamente três etapas, sendo elas: a) correções geométrica e radiométrica das imagens; b)

³ Maldonado, F.D.; Martinelli, M.; Carvalho, V.C. Innovaciones y mejoramientos de las técnicas de detección de cambios en la cobertura vegetal en regiones semi-áridas. In: Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal. Disperati, A.A.; Santos, J.R. (eds). Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda. pp. 61-69. 2004.

seleção de técnicas adequadas para implementação da detecção de mudanças; c) avaliação da precisão resultante. Em relação à precisão resultante da detecção de mudanças pode-se atribuí-la principalmente aos seguintes fatores: (1) precisão geométrica das imagens utilizadas para a análise multitemporal; (2) calibração ou padronização as imagens; (3) disponibilidade de dados para avaliação da verdade do terreno; (4) a complexidade da paisagem e ambientes da área de estudo; (5) alteração de métodos de detecção ou algoritmos utilizados; (6) classificação e detecção dos regimes de mudança; (7) analista qualificado e com experiência; (8) conhecimento e familiaridade com a área de estudo; (9) tempo e o restrições de custos; (10) dinâmica relacionada as variabilidades meteorológicas.

Ainda, conforme acrescentam LU *et al.* (2004), em função dos fatores citados anteriormente, muitos autores tem obtido resultados diferentes e, por vezes, acabando por concluir sobre as metodologias de maneira errônea, por desconhecerem ou não atentarem para os mesmos. Por outro lado, sabe-se que não é fácil selecionar um algoritmo julgado apropriado para a aplicação de uma análise de detecção de mudanças. Em geral, faz-se uma revisão sobre as técnicas e avaliação do desempenho das mesmas e aplicações anteriores para problemas específicos. Assim após ter-se a área de estudo e o sensor selecionados, deve-se passar para a seleção do melhor método para que os mesmos possam ser avaliados.

Cabe destacar ainda que, conforme ROGAN *et al.* (2002), além dos problemas comuns encontrados nos estudos de mudanças, como: problemas de registro de imagens (posicionamento), variações atmosféricas de iluminação e variações do sensor, outros fatores também são determinantes para estas avaliações. Os mesmos autores citam que os efeitos da topografia da região, o tipo de vegetação alvo e variações das estações do ano podem provocar erro nestas interpretações (LEVIEN *et al.*, 1999; SHOSHANY, 2000; NICCOLI-WALLER *et al.*, 1999).

Conforme LE HÉGARAT-MASCLE e SELTZ (2004) são vários os métodos propostos para a detecção de mudanças como os trabalhos de BRUZZONE e PRIETO (2000); MAS (1999); NIELSEN, CONRADSEN e SIMPSON (1998); SMITS e ANNONI (2000); SINGH e HARRISON (1989); FUNG (1990); LAMBIN e STRAHLER (1994); NELSON e HOLBEN (1986); SADER *et al.* (1991); ALWASHED E BOKHARI (1993); COPPIN e BAUER (1994); FOODY e BOYD (1999); JHA e UNNI (1994); MUCHONEY e HAACK (1994); PILON *et al.* (1988); RIDD e LIU (1998); ROY *et al.* (1991); SADER *et al.* (1991) e VOGELMANN (1988). Ainda, os mesmos autores complementam que apesar do grande número de métodos propostos, ainda assim, tudo indica que nenhum deles parece ser suficientemente robusto para substituir todos os demais.

Segundo CANTY (2007) existem diversas técnicas de detecção de mudanças sendo: métodos algébricos entre as imagens (diferenças e razões de bandas), a avaliação através da técnica de componentes principais, a comparação em mapas de uso do solo em diferentes datas e a aplicação de técnicas de análises multivariadas (como por exemplo, a análise de vetores de mudanças). Ainda, conforme QUIRINO *et al.* (2005) pode-se acrescentar a técnica proposta inicialmente por SINGH e HARRISON (1989) e observada nos trabalhos de MAS (1998); LORENA *et al.* (2002); MALDONADO *et al.* (2002); COPPIN *et al.* (2004); SANTOS *et al.* (2002); LE HÉGARAT-MASCLE e SELTZ (2004) e NELSON *et al.* (2005)⁴ *apud* QUIRINO, *et al.* (2005) chamada de rotação radiométrica controlada.

LU *et al.* (2004) descrevem as técnicas de detecção de mudanças separadas em sete categorias sendo elas: algébrico, transformação, classificação, modelos avançados, abordagens em sistemas de informação geográficas, análises visuais e outras abordagens. Na técnica algébrica a avaliação de diferenças entre imagens, aplicação de técnicas de regressão para as imagens, diferenças entre imagens índice de vegetação, entre outros. Geralmente são métodos de simples

⁴ NELSON, T.; WILSON, H.G.; BOOTS, B.; WULDER, M.A. Use of ordinal conversion for radiometric normalization and change detection. *International Journal of Remote Sensing*. 26(3):535-541, 2005.

aplicação e produzem resultados de forma direta. Para o sucesso na aplicação deste método deve-se citar duas condições, sendo elas: seleção de imagens, bandas e índices de vegetação apropriados e seleção de limiares adequados para a identificação das áreas alteradas.

A técnica da transformação inclui a técnica de transformação por componentes principais, *tasselled cap*, Gramm-Schmidt e transformações de qui-quadrado. Uma das vantagens deste método está na redução de dados redundantes entre as bandas e a ênfase nas diferentes informações obtidas nos componentes. A classificação inclui a categoria de comparação das imagens pós-classificadas, ou seja, análise combinada espectral-temporal através de algoritmo de detecção de mudanças. Este método consiste na avaliação das imagens classificadas sendo, portanto, diretamente dependente da qualidade da classificação. A grande vantagem deste método consiste no fornecimento de uma matriz de mudanças. A grande dificuldade deste método consiste em produzir as classificações antes de poder detectar as mudanças.

Os modelos avançados são baseados em técnicas de mistura espectral, modelos de reflectância de Li-Strahler e estimativas de parâmetros biofísicos. Nesta categoria de modelos, a análise de mistura espectral é o método mais utilizado para a detecção de mudanças (ADAMS, SMITH e GILLESPIE, 1995; ROBERTS *et al.*, 1998), a vegetação mudança (USTIN *et al.*, 1999; ROGAN *et al.*, 2002), desfolha (RADELOFF *et al.*, 1999), ao fogo e pastejo padrões (WESSMAN *et al.*, 1997), área urbana mudança (KRESSLER e STEINNOCHER, 1996) e as alterações ambientais (PIWOWAR, DEREK e LEDREW, 1998).

Os sistemas de informações geográficas (SIG) baseados em detecção de mudanças incluem a integração de dados de sensoriamento remoto e SIG. A vantagem deste método é a capacidade de incorporação de diferentes fontes de dados na detecção de mudanças. Porém, também em função dos diferentes formatos de dados e erros atrelados a cada um destes, maiores são as possibilidades de erros embutidos. A técnica da análise visual consiste na

digitalização de áreas que sofreram alterações através da interpretação visual das imagens analisadas. Para áreas pequenas e com analista com experiência, pode ser facilmente aplicada. A principal desvantagem deste método consiste no tempo necessário a realização de tais análises.

ZHANG *et al.* (2007) descrevem as principais técnicas de detecção de mudanças como: a diferença de índices de vegetação, como por exemplo, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) como apontado no trabalho de LYON *et al.* (1998) que testou sete índices de vegetação para três diferentes datas e concluiu que o NDVI teve o melhor desempenho, a comparação entre mapas oriundos de classificações em diferentes datas, que segundo ele é um dos métodos mais óbvios.

Outro importante fator que está envolvido nas detecções de mudanças trata-se de basicamente dois conjuntos de dados, ou seja, o antes e o depois da mudança ocorrida. Para processos que ocorrem de forma progressiva (por exemplo, a erosão), pode ser necessário mais do que estes dois conjuntos para explicar o mesmo (LE HÉGARAT-MASCLE e SELTZ, 2004).

SOARES *et al.* (1998) citam que HOFFER e LEE, (1990) usaram três técnicas de detecção de mudanças: razão entre bandas, diferença entre bandas e análise por componentes principais. Os autores reportam que as três técnicas permitiram a discriminação de diferentes grupos de cobertura florestal, não havendo diferenças significativas entre as técnicas testadas.

2.5 TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

2.5.1 Imagem Diferença

A técnica da imagem diferença é muito utilizada para avaliar as modificações que ocorrem com os usos do solo em função do tempo. Esta técnica é de fácil implementação e simples de interpretar. Basicamente, pode-se dizer que consiste em subtrair duas imagens de datas diferentes, da mesma área, através da

combinação pixel por pixel. O produto desta subtração deverá passar por uma análise para identificar o limiar que expresse satisfatoriamente, as mudanças e não-mudanças, conforme representado na Figura 5.

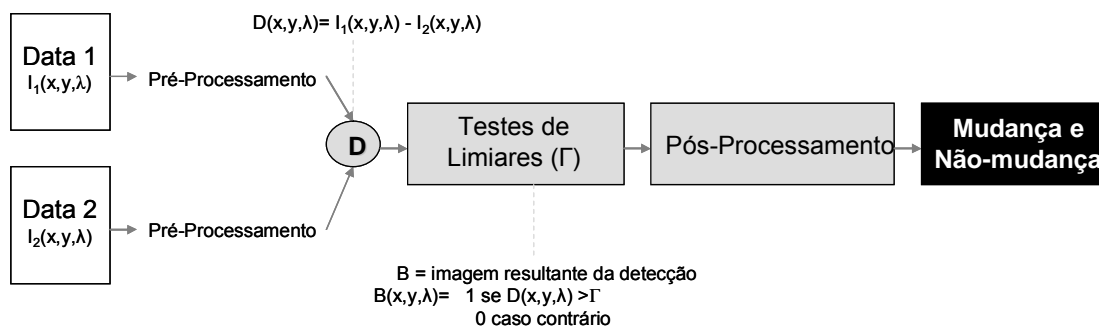


Figura 5 – Representação dos procedimentos de detecção de mudança na técnica da imagem diferença.

Adaptado de: RIVERA (2005)

2.5.2 Análise de Componentes Principais

MINGOTI (2007) cita que a técnica de análise de componentes principais, popularmente conhecida como PCA, foi introduzida por Karl Pearson em 1901 e está fundamentada no artigo de HOTELLING (1933)⁵. Ainda, destaca que o seu principal objetivo é o de explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias através da construção de combinações lineares das variáveis originais. Estas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si. Se existem p-variáveis originais é possível obter p componentes principais. No entanto, em geral deseja-se obter uma redução do número de variáveis a serem avaliadas e interpretação das combinações lineares construídas. Assim, a qualidade da aproximação depende do número de

⁵ HOTELLING, H. Review of the triumph of mediocrity in business. J. Am. Stat. Assoc., v.28, p.463-465, 1933.

componentes mantidas no sistema e pode ser medida através da avaliação da proporção de variância total explicada por essas.

RIVERA (2005) explica que existem dois modos para aplicar Análise de Componente Principal sendo eles:

Modo (1) - trabalhar com duas ou mais imagens de datas diferentes, executar as análises de componentes principais secundárias para a informação de mudança (Figura 6).

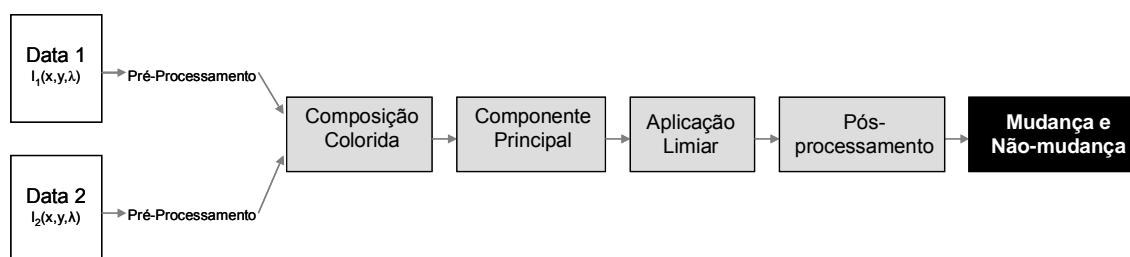


Figura 6 – Aplicação da técnica de componente principal no Modo (1).

Adaptado de: RIVERA (2005)

Modo (2) - aplicar a técnica de componentes principais a cada uma das imagens multiespectrais e posteriormente aplicar a análise de vetor de mudança no espaço de componente principal entre elas (Figura 7).

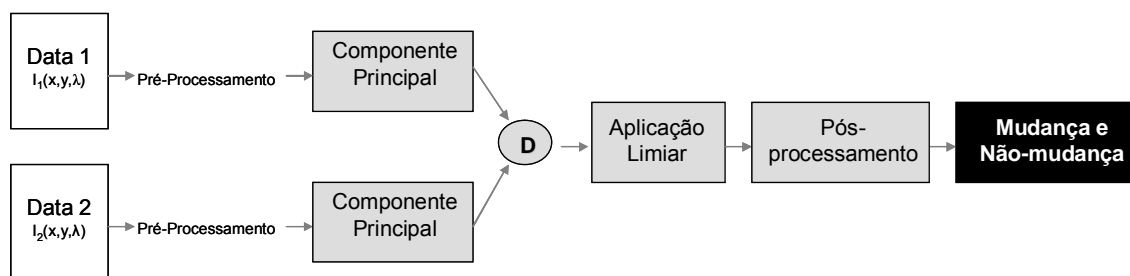


Figura 7 – Aplicação da técnica de componente principal no Modo (2).

Adaptado de: RIVERA (2005)

2.5.3 Comparação de Classificação de Imagens

Esta técnica visa detectar mudanças a partir das classificações de imagens multitemporais onde posteriormente, a partir das feições temáticas, é realizada uma comparação direta, pixel a pixel (RIVERA, 2005). Esta técnica, em geral, é mais trabalhosa e demorada que as demais, porém, minimiza os impactos atmosféricos e outros efeitos ambientais sobre a detecção. O resumo dos procedimentos aplicados nesta técnica está apresentado abaixo na Figura 8.

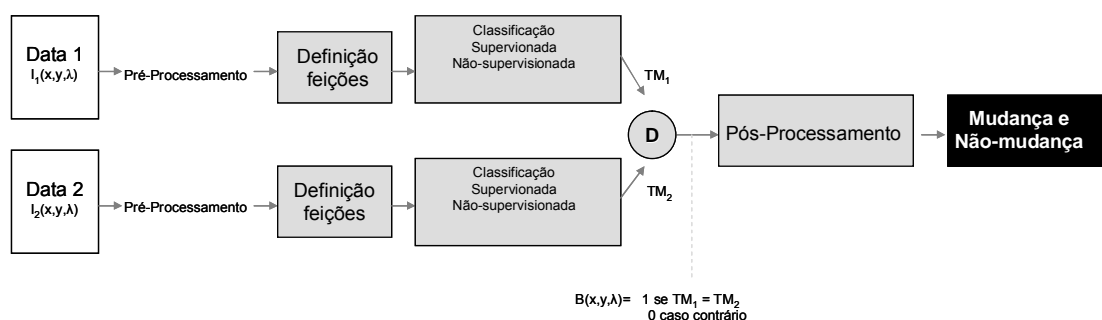


Figura 8 – Aplicação da técnica comparação de classificação das imagens.

Adaptado de: RIVERA (2005)

As classificações utilizadas para esta detecção são comumente resultantes de dois processos, sendo: supervisionado (com a interação do usuário para o treinamento das amostras) e não-supervisionado (agrupamento através de técnicas de conglomerados).

2.5.4 Análise de Vetores de Mudanças

A técnica de análise de vetores de mudanças é uma técnica multivariada e possui a capacidade de analisar “n” bandas, tendo como resultado a geração de duas saídas sendo: magnitude e direção de mudança do vetor. Este método tem a capacidade de eliminar as informações redundantes ou mesmo bandas inteiras, com o objetivo de concentrar e explicar as mudanças ocorridas. Na sequência, ele calcula a variação espectral da mudança e os vetores entre o par de imagens (Figura 9). A magnitude da mudança é calculada pela fórmula da distância euclidiana. O ângulo

dos vetores indica a natureza da mudança que aconteceu e assim, cada vetor é uma combinação de mudanças positivas ou negativas medidas nas bandas espectrais.

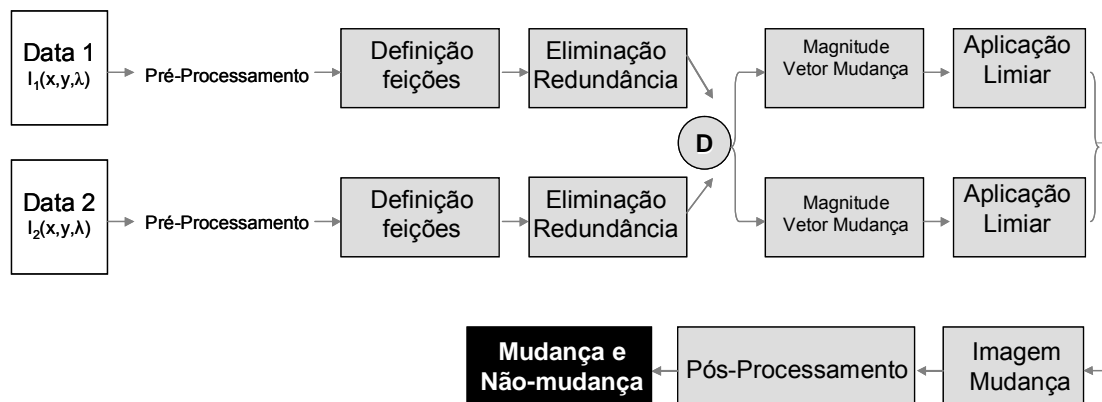


Figura 9 – Aplicação da técnica de análise do vetor de mudança.

Adaptado de: RIVERA (2005)

2.5.5 Rotação Radiométrica Controlada

A técnica de rotação radiométrica controlada se baseia na comparação de duas imagens da mesma banda espectral de duas épocas distintas com a vantagem de não ser necessário o uso de complexos métodos de calibração, correção da reflectância aparente ou correção atmosférica (MALDONADO, 2004). Para que a comparação seja feita, as duas imagens são colocadas em um mesmo espaço de atributos de eixos ortogonais, produz-se a rotação dos eixos ortogonais, em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos identificados como pertencentes à classe de não-mudança. O ângulo da rotação (q) é determinado pelo cálculo do arco tangente da inclinação da reta na regressão dos pixels de não-mudança definidos no terreno (Vide Figura 10). A imagem de mudanças é gerada utilizando o algoritmo de rotação simples (QUIRINO *et al.* 2005), sendo:

$$I_{Det} = -Data_1 \sin q + Data_2 \cos q$$

Onde:

I_{Det} = imagem detecção de mudanças (2ª componente);

q = ângulo de rotação, dado pelo arco tangente da pendente da reta na regressão linear dos pixels de não-mudança;

$Data_1$ = banda TM na primeira data

$Data_2$ = banda TM na segunda data.

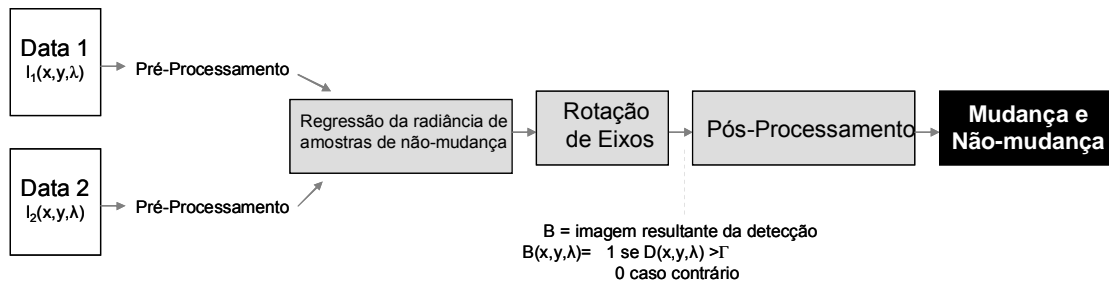


Figura 10 – Aplicação da técnica de Rotação radiométrica controlada.

Adaptado de: MALDONADO (2004)

2.6 MONITORAMENTOS AMBIENTAIS DE LARGA ESCALA COM BASE NO SENSORIAMENTO REMOTO

Conforme descrito por SANTOS (2006), para se efetivar uma análise das condições de determinado ecossistema é necessário, inicialmente, dispor de elementos de observação que possam expressar as características temporais e espaciais dos fenômenos que atuam sobre os alvos e suas causas decorrentes, muitas resultantes do processo antrópico.

Da mesma forma, haja vista que as alterações nos usos da terra contribuem para as alterações climáticas e desequilíbrio ecológico, a localização da superfície terrestre e a quantificação das mudanças, assim como a avaliação de seus impactos

sobre os ecossistemas que em geral são questões difíceis de serem explicadas (BONTEMPS *et al.*, 2008).

As mudanças podem consistir na superfície terrestre transformações ou conversões e pode estar relacionada a dinâmica natural (estágios sucessionais da vegetação, variabilidade durante os anos) ou às atividades humanas. Além disso, podem ocorrer tanto de repente ou gradualmente (COPPIN *et al.*, 2004; LAMBIN e LINDERMAN, 2006; LU *et al.*, 2004). Neste sentido, a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto pode ser útil para auxílio na compreensão e avaliação as atividades humanas sobre a superfície terrestre.

Desta maneira, segundo ORTIZ *et al.* (1996), é evidente a necessidade da definição de uma política eficiente de controle das ações do homem sobre os recursos naturais de uma região, sobretudo em relação a cobertura vegetal nativa, que é um elemento de fundamental importância para a qualidade de vida da população, bem como para a sua economia. Ainda, o mesmo autor complementa que é necessário o conhecimento da distribuição espacial obtido através de mapeamentos, bem como o monitoramento de possíveis alterações na cobertura vegetal devido ações antrópicas.

Cabe destacar que a execução de monitoramentos ambientais em larga escala, com a aplicação de observações somente em campo, pode acabar se transformando em uma atividade morosa e também onerosa e, por muitas vezes acabar sendo ineficiente sob a ótica de encontrar possíveis alterações das características ambientais de uma região. SILVA (2005) diz que muitas vezes a transformação da paisagem se dá de forma muito mais veloz que a própria capacidade dos responsáveis em acompanhar tal evolução.

Ainda, há que se mencionar que a ciência geográfica muito discute as questões relativas à dinâmica de paisagem e, em virtude de novos impulsos em relação as transformações em uma escala espaço/temporal mais dinâmica, esta ciência buscou o uso de geotecnologias para que auxiliassem nesta atividade (SILVA, 2005). Desta maneira, cada vez mais as técnicas de sensoriamento remoto

estão sendo aplicadas as análises ambientais e as análises de detecção de mudanças do território.

Nos EUA o Serviço Florestal vinculado ao Departamento de Agricultura, é um dos principais agentes de coleta de informações sobre suas florestas. Existem diversos programas de monitoramento de informações florestais dentro do território Americano sendo os principais: monitoramentos da incidência de pragas e doenças, monitoramento do crescimento das florestas, sistema florestal nacional, riscos e ocorrência de incêndios até o monitoramento da vegetação em si, sendo muitos destes programas subsidiados pelas respostas dos sensores remotos. Pode-se mencionar ainda a detecção de mudanças realizada na Califórnia com o objetivo de avaliar a cobertura do solo e da vegetação através do serviço florestal da Califórnia. Esta detecção de mudanças esta sendo conduzida para gerar estimativas de aumento e diminuição de cobertura vegetal.

Conforme GOODENOUGH *et al.* (1998), o Projeto de Observação da Terra para o Desenvolvimento Sustentável das Florestas (EOSD) é um projeto que visa desenvolver técnicas para usar imagens de satélites para proporcionar a avaliação dos recursos florestais no Canadá, bem como, ajudar no acompanhamento da situação florestal mundial. Abaixo na Tabela 1 estão apresentadas algumas características dos sensores adotados por algumas províncias do Canadá.

O Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS), em Ontário é um dos seis principais Centros Globais de Observações da Cobertura Florestal (GOFC) projetos-piloto sob supervisão do Comitê Internacional de Observação da Terra através de Satélites. Os cinco anos de projeto, que começou em 1997 e que atualmente está em fase de execução, tem um amplo conjunto de objetivos, sendo eles: produção de imagens de multi-resolução e multi-temporais para avaliação da cobertura florestal, com especial atenção às áreas de rápidas mudanças e fragmentação (JANETOS e FAHERN, 1997).

Tabela 1 – Sensores utilizados por algumas províncias do Canadá.

Província	Detecção de Corte	Detecção de Incêndios	Diagnóstico de Pragas e Doenças	Outras Atualizações
British Columbia	TM , SPOT PAN	TM , SPOT PAN		TM, SPOT PAN
New Foundland	TM, SPOT	TM, SPOT	TM, SPOT	TM, SPOT
Nova Scotia	TM, SPOT			
Ontario	TM			TM
Quebec		Landsat*	TM	

* Apenas para casos especiais, como grandes queimadas florestais. TM - *Thematic mapper*. Fonte: PETERSON *et al.* (1999).

Desde 1990, a Finlândia está seguindo uma metodologia utilizando imagens de satélites como fonte de dados para a execução de seu Inventário Florestal Nacional. A Finlândia utiliza análise estatística das imagens Landsat TM para estimar o grau de participações das espécies, o volume e a classe de qualidade de madeira das regiões. A meta dos finlandeses com o uso de sensoriamento remoto não foi para diminuir o custo do processo de inventário florestal, mas para melhorar a precisão com base em dados de mais rápida obtenção (TOMPPO, 1998).

Ainda, pode-se citar o Sistema de Gerenciamento e Monitoramento Ambiental e Florestal (FOREMMS) financiado pela União Européia, cujo objetivo é acompanhar de maneira precisa as informações sobre a cobertura florestal dando informações sobre o desenvolvimento das mesmas. Para tanto, está baseado em medições em campo e técnicas avançadas de sensoriamento remoto.

Um exemplo de monitoramento de larga escala no Brasil é o projeto Proarco desenvolvido pela divisão de Processamento de Imagens do INPE, através da criação de um banco de dados geográficos que contem várias informações relativas a queimadas, tais como: focos de calor dos mais variados satélites, imagens de vários satélites e com vários níveis de resolução, base cartográfica, dados meteorológicos, mapa de desmatamento, mapa das unidades de conservação, entre outros. As informações que alimentam este banco de dados são oriundas de

sensores como NOAA, GOES, Aqua, Terra, Meteosat e Modis. Este projeto armazena informações desde 1992 sobre os focos de calor e queimadas de todo o Brasil e através do site do projeto pode-se resgatar informações de qualquer período a partir deste ano mencionado até os dias atuais.

Outro bom exemplo de monitoramento de larga escala no Brasil trata-se do projeto conhecido como PRODES, que tem como objetivo o monitoramento da floresta Amazônica Brasileira via satélite. Este projeto está em operação desde o ano de 2002 e gera estimativas das taxas de desflorestamento na Amazônia Legal. Da mesma maneira, está produzindo um banco de dados geográficos multitemporal. O sensor utilizado para aplicação desta metodologia é o Landsat – TM.

Também se deve fazer menção sobre o Projeto de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia conhecido com LBA, que é uma iniciativa internacional de pesquisa liderada pelo Brasil. O LBA está planejado para gerar novos conhecimentos, necessários à compreensão do funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, do impacto das mudanças dos usos da terra nesse funcionamento, e das interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da Terra. Dentro deste programa, varias técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas para subsidiar as respostas deste projeto.

2.7 REDUÇÃO DO DESMATAMENTO E DA DEGRADAÇÃO FLORESTAL - REDD

A estimativa do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em relação às emissões do desflorestamento de florestas tropicais para o ano de 1990 era de 1,6 bilhão toneladas de carbono por ano (t C/ano), valor este que corresponderia a 20% do total carbono das emissões globais (PARKER *et al.*, 2008). Na Tabela 2 estão apresentados as taxas de desmatamento anuais para as diferentes regiões que possuem florestas tropicais (MOUTINHO e SCHARTZMAN, 2005).

Conforme a FAO (2001)⁶ *apud* MOUTINHO e SCHARTZMAN (2005), as taxas mais elevadas de desflorestamento (em 10⁶ ha/ano durante os anos 90) ocorreram no Brasil (2.317), na Índia (1.897), na Indonésia (1.687), no Sudão (1.003), na Zâmbia (854), no México (646), na República Democrática do Congo (538) e em Myanmar (576).

Tabela 2 – Média da taxa de desmatamento em regiões com florestas tropicais (10⁶ ha/ano)

Região	1980s		1990s		
	FAO* (1995)	DEFRIES <i>et al.</i> ** (2002)	FAO* (2001)	DEFRIES <i>et al.</i> ** (2002)	ACHARD <i>et al.</i> *** (2004)
América	7,4	4,426	5,2	3,982	4,41
Ásia	3,9	2,158	5,9	2,742	2,84
África	4,0	1,508	5,6	1,325	2,35
Total	15,3	8,092	16,7	8,049	9,60

Fonte: adaptado de MOUTINHO e SCHARTZMAN (2005).

* As taxas de desflorestamento da FAO não são as mudanças líquidas na área da floresta relatada pela FAO (1995, 2001). Um pouco, são taxas brutas de desflorestamento, com exclusão dos aumentos em áreas da plantação. As áreas naturais e da plantação da floresta para 2000 foram obtidas de FAO (2001). A área natural da floresta para 1990 foi calculada como a diferença entre a área total da floresta em 1990 (de FAO 2001) e área da plantação em 1990 (de FAO 1995).

** As taxas de DEFRIES *et al.* (2002) referem taxas brutas de perda da floresta (que não conta ganhos na área da floresta).

*** As taxas de ACHARD *et al.* (2004) não incluem áreas do aumento da floresta.

No entanto, pode se perceber que não existe consenso sobre os números publicados pelos diferentes autores tornando-se uma dificuldade afirmar quais os números que representam de forma fidedigna a realidade do desmatamento nas florestas tropicais. Entretanto, pode-se afirmar com certeza que este tema é preocupante e necessita a atenção de toda a sociedade.

Nos episódios de El Niño, quando secas severas atingem grandes trechos da Amazônia, do Sudeste da Ásia e de outras regiões tropicais, essas emissões

⁶ FAO - Food and Agriculture Organization. 2001. Global Forest Resources Assessment 2000. Main Report. FAO Forestry Paper No. 140, FAO, Rome, Italy.

tropicais chegam a dobrar devido a ocorrência de intensos incêndios florestais (PAGE *et al.*, 2002, ALENCAR *et al.*, 2006).

O desflorestamento é resultado de uma combinação complexa de fatores. A maioria destes fatores não está inicialmente associado ao nível da floresta, mas originam-se de outros setores. A literatura classifica as causas do desflorestamento de diferentes formas sendo aqui apresentado um exemplo completo onde estas estão divididas em três níveis, sendo: (GEIST e LAMBIN, 2006; KAIMOWITZ e ANGELSEN, 1998; KANNINEN *et al.*, 2008);

- As causas próximas, diretas ou imediatas referente às ações diretas de agentes do desflorestamento. Consideram atividades, a extração dos produtos de silvicultura ou a expansão das atividades agrícola e infraestrutura.

- As causas indiretas ou ocultas que se referem os fatores sociais que influenciam o comportamento dos agentes do desflorestamento, fatores econômicos, tecnológicos, demográficos, da política, os institucionais e os culturais.

- Os outros fatores incluem a possibilidade de fatores ambientais, biofísicos e possibilidades de outros eventos antrópicos.

Caso o ritmo de desmatamento das últimas décadas prossiga, estima-se que em 2030 cerca de 55% das florestas da Amazônia brasileira estarão desmatadas, exploradas para retirada de madeira ou degradadas por estiagens graves (SOARES-FILHO *et al.* 2006, NEPSTAD *et al.* 2006a, NEPSTAD *et al.* 2006b⁷ *apud* NEPSTAD, 2007). O volume de carbono liberado para a atmosfera nesse período chegaria a 20 ±5 bilhões de toneladas de carbono. Cabe mencionar que essas previsões não incluem os efeitos de mudança do clima, regional ou global, sobre o fluxo das emissões de carbono.

⁷ NEPSTAD, D. C.; SCHWARTZMAN, S; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D. G.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P. A.; ALENCAR, A.; PRINS, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands, *Conservation Biology*, 20(1), 65-73. 2006.

Conforme ANGELSEN (2008), embora as emissões de gases de efeito estufa oriundas do desmatamento não tenham sido consideradas no Protocolo de Quioto, existe atualmente um debate no âmbito da Convenção de Mudança Climática da ONU (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) sobre como tratá-las num regime pós-2012. A proposta para compensar países em desenvolvimento por Reduções de Emissões de gases de efeito estufa de Desmatamento e Degradação de Florestas ou *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD) foi apresentada inicialmente na 9ª Conferência das Partes (COP 9) da UNFCCC ocorrida em Milão, em 2003, por um conjunto de entidades (SANTILLI *et al.* 2005, MOUTINHO e SCHWARTZMAN, 2005⁸ *apud* NEPSTAD, 2007). Tal proposta foi formalizada por Papua-Nova Guiné, Costa Rica e outras nações tropicais durante a COP 11, realizada em Montreal, em 2005 (SILVA-CHAVEZ e PETSONK, 2006; SCHLAMADINGER *et al.* 2007; SKUTSCH *et al.*, 2007; SEDJO e SOHNGEN, 2007⁹ *apud* NEPSTAD, 2007). Finalmente, durante a COP13 ocorrida em Bali, em dezembro de 2007, foi estabelecido um “Mapa do Caminho” (*Bali Road Map*), o qual inclui determinações para um acordo sobre clima, pós 2012, ano em que finda o Protocolo de Quioto. Tal Mapa determina também o início de um processo de busca por mecanismos que tratem das emissões de desmatamento nos países em desenvolvimento. O Brasil endossou a redução compensada (remunerada) de emissões oriundas do desmatamento ao lançar uma proposta de incentivos positivos durante a COP 12, realizada em Nairóbi no ano de 2006. Para tanto, um “fundo para florestas tropicais” seria criado e mantido por contribuições voluntárias dos países desenvolvidos. Contudo, a proposta brasileira não incluiu um mecanismo de mercado (comércio de créditos de carbono de desmatamento) para prover recursos para esse fundo (NEPSTAD, 2007).

⁸ MOUTINHO, P., SCHWARTZMAN, S. Tropical deforestation and climate change, Environmental Defense Fund, Washington, DC. 2005. 32p.

⁹ SEDJO, R.A., SOHNGEN, B. Carbon credits for avoided deforestation. Washington, D.C.: Resources for the Future. 2007.

Segundo MOUTINHO e SCHWARTZMAN (2005)⁴ *apud* NEPSTAD (2007), embora não haja qualquer posicionamento formal do governo Brasileiro contrário ao uso de mecanismos de mercado para tratar das emissões de desmatamento, este ainda mostra-se resistente quanto a esta opção. Segundo estes autores, tal resistência é, no mínimo, surpreendente. Isto porque o Brasil é o país mais bem-posicionado para se beneficiar de um programa de REDD que seja sustentado pelos mecanismos de mercado. Dois terços das emissões anuais de carbono do Brasil provêm do desmatamento, especialmente daquele ocorrido na Amazônia.

Através do decreto nº 6.527 de 01 de agosto de 2008 (BRASIL, 2008), o Brasil estabeleceu o Fundo Amazônia pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, sendo que o BNDES ficou autorizado a destinar o valor das doações recebidas em espécie, para a realização de aplicações não reembolsáveis em ações de prevenção, monitoramento e combate ao desmatamento e de promoção da conservação e do uso sustentável no bioma amazônico, contemplando as seguintes áreas: gestão de florestas públicas e áreas protegidas, controle, monitoramento e fiscalização ambiental, manejo florestal sustentável, atividades econômicas desenvolvidas a partir do uso sustentável da floresta, Zoneamento Ecológico e Econômico, ordenamento territorial e regularização fundiária, conservação e uso sustentável da biodiversidade e recuperação de áreas desmatadas.

Conforme o BNDES (2009) foi assinado em março de 2009 o primeiro contrato de doação com o governo da Noruega destinado ao Fundo Amazônia. O Fundo, administrado pelo BNDES (2009), receberá por este contrato o equivalente a US\$ 110 milhões (700 milhões de coroas norueguesas) com desembolsos previstos para 2009 e 2010. Os recursos são parte da doação de US\$ 1 bilhão prevista para ser repassada integralmente até 2015.

Apesar da óbvia importância de reduzir as emissões do desmatamento, vários obstáculos à criação de um Programa de REDD dentro do processo da UNFCCC ainda precisam ser superados. Uma dificuldade importante são as dúvidas

sobre os custos de redução do desmatamento e que valor dos créditos de carbono deveriam atingir para que tal redução fosse factível.

Entretanto, na última conferência das partes (COP-15) na Dinamarca, através do *Draft decision/CP.15*, pode-se perceber que alguns consensos já foram possíveis no âmbito das negociações formais do UNFCCC, especificamente no que trata das atividades seriam elegíveis para o REDD+ no UNFCCC. No texto final, ficaram citadas as seguintes atividades:

- (a) Redução de emissões do desmatamento;
- (b) Redução de emissões da degradação florestal;
- (c) Conservação dos estoques de carbono florestal;
- (d) Manejo sustentável de florestas;
- (e) Aumento dos estoques de carbono florestal.

2.8 OS PROJETOS DE REDD NO MUNDO, AMÉRICA LATINA E BRASIL

WERTZ-KANOUNNIKOFF e KONGPHAN-APIRAK (2009) fizeram um levantamento sobre iniciativas de projetos voluntários de REDD na África, Ásia e América Latina, entre novembro e dezembro de 2008, e as informações coletadas foram atualizadas até maio 2009. Neste levantamento foram encontradas mais de 100 iniciativas de REDD no mundo sendo: 44 ações efetivas de redução, 65 atividades de demonstração de intenção e 12 atividades onde o carbono não é o objetivo explícito. Conforme estes autores, a Indonésia possui a maior parte das intenções de projetos, sendo a maior parte ainda na fase de planejamento (68%).

CENAMO *et al.* (2009) menciona que na América Latina existem 17 projetos de REDD, que totalizam 521.206.421 t CO_{2eq} de redução de emissões (Vide Figura 11). Este autor comenta que o Brasil tem a maior quantidade de projetos (7) e também a maior quantidade de reduções de emissões totalizando 277,6 milhões de t CO_{2eq}. Em seguida vem o Equador com apenas 1 projeto de 190 milhões de t CO_{2e} seguido da Guatemala com 3 projetos que totalizam 23,1 milhões de t CO_{2eq}. Depois

com uma quantidade menos expressiva de redução de emissões, aparecem os países: Paraguai (1 projeto com 13 milhões de t CO_{2eq}), Peru (4 projetos com 11,7 milhões de t CO_{2eq}) e Bolívia (1 projeto com 5,8 milhões de t CO_{2eq}).



Figura 11 – Projetos de REDD existentes na América Latina.

Fonte: Adaptado de CENAMO *et al.* (2009)

Conforme CENAMO *et al.* (2009) os projetos de REDD Brasileiros até o momento são:

1. Projeto de Carbono do Estado do Acre – Pagamento por Serviços ambientais, desenvolvido pelo Governo do Estado do Acre;
2. Ecomapuá – Projeto de REDD na Amazônia, desenvolvido pelo setor privado, pela Ecomapuá Conservação Ltda;
3. Projeto de REDD Gênesis, desenvolvido pelo Instituto Ecológica em parceria com as instituições: CantorCO₂ e CarbonFund.org;

4. Combate ao desmatamento em pequenas propriedades rurais na região da rodovia Transamazônica, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Foundation Live, Produce, Preserve e Fundo Brasileiro para Biodiversidade (FUNBIO);

5. Projeto de REDD na Reserva Juma, desenvolvido pela Fundação Amazônia Sustentável, Governo do Amazonas Marriott Hotel e Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (IDESAM);

6. Conservação da Mata Atlântica, projeto piloto de reflorestamento e projeto de ação contra o aquecimento global em Antonina, desenvolvido pela SPVS e TNC;

7. Projeto Suruí, desenvolvido pelo IDESAM e ACT-Brazil.

Os projetos de REDD no Brasil possuem duração propostas de 15 a 44 anos, tendo 6.783.204 hectares de área destinadas a finalidade de redução de emissões pelo desmatamento ou degradação florestal (Vide Tabela 3). Os projetos de REDD do Brasil estão situados nos estados do Acre, Pará, Tocantins, Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e Paraná. O maior projeto Brasileiro em termos de redução de emissões é o projeto Juma. Este projeto foi implementado pela Fundação Amazonas Sustentável (FAS) em parceria com o Governo do Estado do Amazonas, a rede de hotéis *Marriott International* e o Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas – IDESAM. Este projeto foi validado pela Aliança Clima, Comunidade e Biodiversidade (CCBA) e também pela empresa alemã TÜV-SUD. Esta validação garante que o projeto cumpre com boas práticas e assegura a entrega de benefícios reais em termos de clima, biodiversidade e comunidade (CENAMO *et al.*, 2009).

Ainda CENAMO *et al.* (2009) comenta que existem outros 5 projetos Brasileiros em fase inicial de concepção, sendo eles:

- ✓ Projeto Piloto de REDD no noroeste do Mato Grosso, sendo 10,5 milhões de hectares, formados por 82% de remanescentes florestais, desenvolvido pela TNC e Instituto Centro Vida (ICV);
- ✓ Projeto de REDD Calha Norte no Pará, com 7,4 milhões de hectares, desenvolvido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará (SEMA-PA), *Conservation International – Brazil* e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON);
- ✓ Apuí Verde, com 12.000 hectares, no Estado do Amazonas, desenvolvido pelo IDESAM;
- ✓ Projeto Sócio-Ambiental Xingu no Estado do Mato Grosso desenvolvido pela Aliança da Terra (*Land Alliance*) e IPAM;
- ✓ Projeto Piloto em São Félix do Xingu, no Estado do Pará, desenvolvido pelo Governo do Estado, Prefeitura Municipal e TNC.

Tabela 3 – Resumo dos projetos de REDD no Brasil.

Projetos	Taxa de Desmatamento usada no Projeto	Período (anos)	Redução de Emissões Total (milhões tCO _{2e})	Área do Projeto (ha)	Estado
Projeto Acre	0,42%	15	62,50	5.800.000	Acre
Ecomapuá	0,84%	20	6,00	94.171	Pará
Gêneses	0,67%	20	0,06	1.076	Tocantins
Transamazônica	4,80%	10	3,14	31.745	Pará
Juma	1,41%	44	189,00	589.612	Amazonas
Antonina	0,09%	40	0,38	18.600	Paraná
Suruí	0,37%	44	16,50	248.000	Rondônia e Mato Grosso

Fonte: Adaptado de CENAMO *et al.* (2009).

2.9 SEÇÕES DOS PROJETOS DE REDD

Como ainda não existe uma regulamentação oficial do UNFCCC em relação aos projetos de REDD, baseou-se no documento da Aliança Clima, Comunidade e

Biodiversidade - CCBA¹⁰, adotado por diversos projetos existentes como a base metodológica.

Conforme menciona ALIANÇA CLIMA, COMUNIDADE E BIODIVERSIDADE (2008), o documento do projeto é composto por 5 seções, sendo elas: 1ª – Seção Geral; 2ª - Seção Clima; 3ª Seção Comunidades; 4ª Seção Biodiversidade; e 5ª Seção de “Nível Ouro”. Em cada uma destas seções são descritas algumas situações que estão apresentadas abaixo na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição das seções dos projetos no modelo CCBA.

SEÇÃO GERAL		
Item	Descrição	Caráter
G1	Condições Originais da Área do Projeto	Obrigatório
G2	Projeções de Linha de Base	Obrigatório
G3	Concepção e Objetivos do Projeto	Obrigatório
G4	Capacidade de Gestão e Boas Práticas	Obrigatório
G5	Status Legal e Direitos de Propriedade	Obrigatório
SEÇÃO CLIMA		
CL1	Impactos Líquidos Positivos ao Clima	Obrigatório
CL2	Impactos Climáticos fora da Área do Projeto (“Vazamentos”)	Obrigatório
CL3	Monitoramento dos Impactos Climáticos	Obrigatório
SEÇÃO COMUNIDADES		
CM1	Impactos Líquidos Positivos às Comunidades	Obrigatório
CM2	Impactos Sociais fora da Zona do Projeto	Obrigatório
CM3	Monitoramento dos Impactos às Comunidades	Obrigatório
SEÇÃO BIODIVERSIDADE		
B1	Impactos Líquidos Positivos à Biodiversidade	Obrigatório
B2	Impactos à Biodiversidade fora da Zona do Projeto	Obrigatório
B3	Monitoramento dos Impactos à Biodiversidade	Obrigatório
SEÇÃO DE “NÍVEL OURO”		
GL1	Benefícios de Adaptação às Mudanças Climáticas	Opcional
GL2	Benefícios Excepcionais às Comunidades	Opcional
GL3	Benefícios Excepcionais à Biodiversidade	Opcional

Fonte: Adaptado de CCBA (2008).

¹⁰ Padrões Clima, Comunidade e Biodiversidade (Segunda Edição – Dezembro 2008).

No tópico G1 (Condições Originais da Área do Projeto) são descritas características como localização do projeto e parâmetros físicos básicos (ex. solos, geologia, clima), os tipos e condições da vegetação dentro da área do projeto, os limites da área e da zona do projeto, estoques atuais de carbono dentro das áreas do projeto, descrição das comunidades localizadas na zona do projeto, descrição do uso da terra atual e dos direitos legais e tradicionais de propriedades e informações gerais sobre a Biodiversidade.

No tópico G2 (Projeções de Linha de Base) descrição das condições esperadas na área do projeto na ausência das atividades do projeto. Os impactos da implementação do projeto serão comparados com esse cenário de referência “sem projeto”. Para tanto deverão ser descritas algumas características como: cenário de uso da terra mais provável na ausência do projeto, os benefícios esperados com o projeto que não teriam ocorrido na ausência do mesmo, cálculo das mudanças nos estoques de carbono associadas com o cenário de referência “sem projeto” (nos projetos de REDD devem ser citadas as taxas de desmatamento e/ou degradação adotadas) e uma explanação sobre como o cenário de referência “sem projeto” afetaria as comunidades e a biodiversidade na zona do projeto.

No tópico G3 (Concepção e Objetivos do Projeto) deve ser apresentado um resumo do projeto, descrição das atividades, mapa de localização, citar os possíveis riscos naturais e antropogênicos aos benefícios esperados ao clima, demonstrar que a concepção do projeto inclui medidas para garantir a manutenção ou melhoria da biodiversidade, descrever as medidas para manter e incrementar os benefícios de clima, entre outros.

No caso do G4 (Capacidade de Gestão e Boas Práticas) são apresentadas as informações do proponente do projeto, as habilidades técnicas específicas que serão necessárias para a implementação do projeto, plano de orientação e treinamento para os empregados do projeto e pessoas relevantes das comunidades, demonstrar que serão dadas oportunidades igualitárias às comunidades para

preenchimento das vagas de trabalho, lista de todas as leis e regulamentos relevantes ao projeto, Avaliar extensivamente situações e cargos que representem riscos substanciais à segurança dos trabalhadores e documentar a saúde financeira das organizações envolvidas.

No tópico G5 (Status Legal e Direitos de Propriedade) será apresentada uma listagem lista de todas as leis e regulamentos relevantes nos âmbitos nacionais e locais do país sede do projeto bem como comprovar que o projeto tem a aprovação das autoridades apropriadas. Demonstrar, através de consultas e acordos documentados, que o projeto não transgredirá qualquer propriedade privada, comunitária ou governamental. Demonstrar que o projeto não requer a realocação involuntária de pessoas ou atividades importantes para o meio de vida e cultura das comunidades bem como Identificar qualquer atividade ilegal que possa afetar os impactos do clima, comunidades e biodiversidade. Demonstrar que os proponentes do projeto têm titularidade clara e incontestável sobre os direitos de carbono.

O tópico CL1 (Impactos Líquidos Positivos ao Clima) se beneficiará do trabalho aqui descrito tendo em vista que precisará apresentar o balanço líquido nos estoques de carbono devido à implementação das atividades do projeto, ou seja, igual às mudanças nos estoques de carbono com o projeto, menos as mudanças nos estoques de carbono sem o projeto. Caso existam outros GEE envolvidos, deverá ser estimado também o balanço líquido nas emissões de GEE não-CO₂, como CH₄ e N₂O no cenário com e sem projeto.

No tópico CL2 (Impactos Climáticos fora da Área do Projeto (“Vazamentos”)) deverão ser listados os tipos de vazamentos esperados e estimar potenciais aumentos nas emissões de GEE fora da área do projeto bem como a estratégia de mitigação dos mesmos.

No tópico CL3 (Monitoramento dos Impactos Climáticos) que também se beneficiará deste trabalho tendo em vista que nesta fase deverá ser descrita a metodologia que se pretende adotar para realizar o acompanhamento das áreas e do crescimento ou supressão da vegetação. Este plano de monitoramento deverá

ser implementado dentro de seis meses a partir da data do início do projeto ou dentro de doze meses a partir da validação nos Padrões CCB.

Nos tópicos CM1, CM2 e CM3, deverão ser apresentados os impactos as comunidades dentro e fora do projeto e o plano de como se pretende acompanhar ao longo do período de duração do projeto, a relação da comunidade para com ele.

Nos tópicos B1, B2 e B3 o projeto precisará comprovar que irá gerar impactos líquidos positivos à biodiversidade, demonstrar que avaliaram os impactos negativos sobre a biodiversidade e propuseram um plano de monitoramento para a biodiversidade.

Nos tópicos GL1, GL2 e GL3, são opcionais e indicam que o projeto irá fornecer apoio significativo na assistência às comunidades e/ou biodiversidade, para que estas se adaptem aos impactos das mudanças climáticas, reconhecem abordagens de projetos que são explicitamente “pró-pobres” em termos de garantir benefícios às comunidades e pessoas globalmente mais pobres e famílias mais vulneráveis e comprovam a existência de benefícios excepcionais à Biodiversidade identificam projetos que conservam a biodiversidade em locais de significância global para a conservação da biodiversidade.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização

A área onde o estudo foi desenvolvido localiza-se no Estado do Paraná e está situada entre as regiões centro-sul e sudoeste do estado. Esta área está delimitada pelos municípios de Francisco Beltrão, Coronel Vivida, Laranjeiras do Sul e Catanduvas, conforme se observa na Figura 12 abaixo, tendo como limite as coordenadas UTM, Datum SAD-69, X_1 : 282.022m e Y_1 : 7.124.992m e X_2 : 340.507m e Y_2 : 7.198.543m.

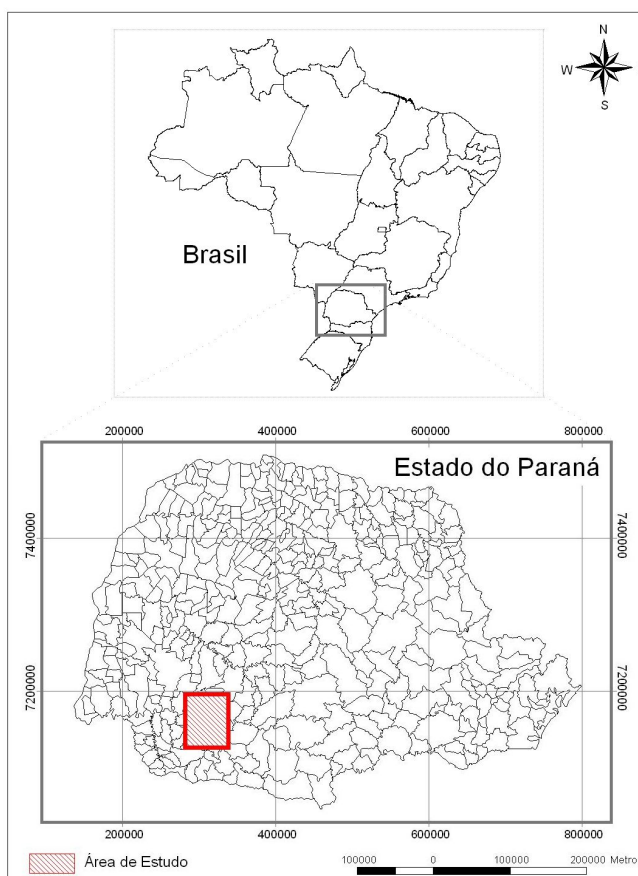


Figura 12 – Abrangência da área selecionada para o estudo.

3.1.2 Vegetação Natural

Conforme a classificação do IBGE (1992), a formação florestal original da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Mista. Contudo, a vegetação original da região já sofreu forte influência antrópica.

SANQUETTA e MATTEI (2006) citam que na região da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, notadamente nas regiões menos favorecidas pelas possibilidades de prática da agricultura moderna, ainda predominam atividades econômicas tradicionais, como as culturas agrícolas de subsistência, a extração de erva-mate e o pastoreio sob cobertura florestal. A baixa rentabilidade destas atividades e o êxodo rural decorrente têm determinado o abandono de muitas áreas, com a conseqüente formação de mosaicos vegetacionais em distintas fases sucessionais, que não raras vezes são complexos e de difícil discriminação. Entretanto, as regiões centro-sul e sudoeste alvo deste trabalho são conhecidas por serem destaques na produção agrícola do Estado do Paraná.

Os remanescentes primários da Floresta Ombrófila Mista (floresta em estágio avançado de sucessão) não somam hoje nem 1% da área ocupada originalmente no Estado do Paraná. Os estágios médio e inicial de sucessão na Floresta Ombrófila Mista somam aproximadamente 2,7 milhões de hectares (FUPEF-CNPq, 2001). Conforme SANQUETTA e MATTEI (2006) destes, apenas 275 mil são representados por fragmentos superiores a 50 ha em tamanho.

ROSOT *et al.* (2006)¹ *apud* ROSOT (2007) trás a afirmação de que a discrepância entre números nos levantamentos efetuados – resultado de diferentes métodos e definições utilizados nas classificações – não altera o fato de que a maioria dos remanescentes encontra-se, hoje, empobrecida pela extração predatória e seletiva dos últimos 60 anos.

3.2 MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado foi dividido em 2 grupos, sendo: 1) produtos cartográficos e imagens e 2) equipamentos de processamento e aplicativos.

¹ ROSOT *et al.* Desarrollo de un modelo de plan de manejo para áreas protegidas en bosques con araucaria en el sur de Brasil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 2., 2006, La Serena. Bosques: la creciente importancia de sus funciones ambientales, sociales y económicas. [Santiago]: INFOR, 2006. p. 110. Resumo. IUFROLAT 2006.

3.2.1 Produtos Cartográficos e Imagens

Foram utilizados os seguintes produtos cartográficos: mapas temáticos e imagens de satélite listados na sequência.

3.2.1.1 Mapas Temáticos

Os mapas temáticos do Paraná utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo Instituto de Terras e Cartografia e Geociências - ITCG, sendo:

- ✓ Arquivo Vetorial - Formato *Shapefile* - da hidrografia do Estado do Paraná. Material Vetorizado com base nas Cartas Topográficas na escala de 1:250.000. Fonte: IPARDES. Sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul. (IPARDES).

- ✓ Arquivo Vetorial – Formato *Shapefile* - Mapa da Divisão Política Administrativa do Paraná do ano de 2007. Fonte: ITCG. Sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul. (ITCG, 2007).

- ✓ Arquivo Vetorial – formato *Shapefile* – Mapa de Rodovias do Paraná. Fonte: IBAMA, Sistema Compartilhado de Informações Ambientais. Sistema de Projeção UTM - Fuso 22 Sul. (IBAMA).

3.2.1.2 Imagens de Satélite

As imagens utilizadas neste trabalho são oriundas do satélite Landsat 5. Este satélite é multiespectral e tem suas características técnicas apresentadas abaixo na Tabela 5.

A série dos satélites Landsat teve início no final da década de 60, com base em um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da

série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do Landsat 7. Atualmente o único satélite em operação é o Landsat 5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre.

Tabela 5 – Características do satélite utilizado no trabalho.

Características	Landsat 5
Resolução espacial	30 x 30m
Câmara	TM
Resolução espectral	1- 0,45 a 0,52µm
	2- 0,50 a 0,60 µm
	3- 0,63 a 0,69 µm
	4- 0,76 a 0,90 µm
	5- 1,55 a 1,75 µm
	6- 10,4 a 12,5 µm
Resolução temporal	16 dias com visada vertical
Largura da faixa de imageamento	185 km
Datas Utilizadas no Trabalho	28/07/1989
	27/04/2009

As datas dos anos selecionados foram as mais próximas possíveis com o objetivo de padronizar as estações dos anos de avaliação. No entanto, houve uma diferença de 3 meses em função da inexistência de dados mais próximos.

3.2.2 Equipamentos de Processamento e Aplicativos

Foram utilizados aplicativos disponíveis no Laboratório de Inventário Florestal da Universidade Federal do Paraná, sendo eles: ENVI 4.5 licenciado para a Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, ARCGIS 9.0 e o MATLAB.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Processamento Digital das Imagens de Satélite

Conforme KIRCHNER, MITISHITA e PREOSCK (1988), o processamento digital de dados originais tem o potencial de preservar a correta radiometria e a máxima resolução das imagens. MATTOS (1993) complementa que os processamentos de imagens são as modificações da mesma para aumentar seu poder de discriminação.

Assim, pode-se dizer que o processamento das imagens envolve todas as operações de manipulação das mesmas para a obtenção de um produto final. Abaixo, são descritas as atividades relacionadas ao processamento das imagens utilizadas neste trabalho.

3.3.1.1 Sistema de Processamento Base das Imagens

3.3.1.1.1 Correção Geométrica da Imagem

Para a correção geométrica, os pontos de apoio foram definidos e distribuídos homogeneamente por toda a área da imagem. A correção geométrica e o registro foram realizados no software ENVI, versão 4.5, licenciado para a FUPEF do Paraná.

Esta correção visou georreferenciar as imagens, com base na localização de pontos (x, y) notáveis no sistema de coordenadas UTM, datum SAD-69.

O georreferenciamento foi realizado em um primeiro momento para a banda 3 com base na cartografia temática disponível sendo identificados 35 pontos e selecionados os 25 pontos de controle com menores erros. Em seguida, a correção foi realizada imagem para imagem (banda 3 para as demais bandas) utilizando-se 25 pontos de controle em cada atividade de georreferenciamento.

Após a seleção dos pontos de controle, foi indicado o grau de polinômio, o tamanho e a resolução da grade. Definido os parâmetros do registro, seguiu-se à fase de reamostragem das grades, na qual o próprio algoritmo calcula o valor do

nível de cinza de cada *pixel*, sobre a nova grade da imagem. Para tanto é necessário a seleção de um método de interpolação. Neste caso, o método selecionado foi o vizinho mais próximo. Este método apresenta a vantagem de ser de rápido processamento e de não alterar os valores originais de cinza.

A precisão da operação de georreferenciamento é determinada por processo estatístico, denominado erro médio quadrático (RMS), expressando o erro entre as distâncias das coordenadas reais e transformadas para o mesmo ponto, calculado pela seguinte expressão (1):

$$RMS = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2} \quad (1)$$

Onde:

X_i e Y_i = coordenadas verdadeiras;

X_r e Y_r = coordenadas que serão transformadas.

Conforme KHORRAM *et al.* (1998) apud LUNETTA e ELVIDGE (1993) citam quando trabalha-se com imagens de 30 metros de resolução espacial para detecção de mudanças, o processo de georreferenciamento deve garantir que o erro quadrático médio (RMS) seja inferior ou igual a 0,5 *pixel* (≤ 15 metros). Desta forma, para a correção geométrica entre imagens, este foi o critério utilizado.

3.3.1.1.2 Recorte da Imagem para a área de Abrangência

Em seguida as imagens foram recortadas visando diminuir a área de abrangência e reduzir o tempo de processamento dos testes que seriam realizados. O limite da área de abrangência foi citado anteriormente. Para efetuar tal recorte selecionou-se a região da imagem que apresentava maior indício de alterações na cobertura florestal entre os anos avaliados (1989 e 2009). Cabe destacar que a época da tomada da cena interfere de forma significativa nas reflectâncias armazenadas nas mesmas. Assim, época mais ou menos chuvosa ou estações do ano podem trazer diferenças significativas no desempenho de qualquer algoritmo de detecção de mudanças. Desta maneira, recomenda-se que sempre que seja necessário optar por cenas para trabalhos semelhantes, estas variáveis sejam levadas em consideração.

3.3.1.1.3 Conversão dos Números Digitais para Radiância/Reflectância

A conversão dos números digitais para radiância/reflectância foi realizada com objetivo de subsidiar os cálculos dos índices de vegetação. O desenvolvimento deste trabalho usou tanto as imagens com os números digitais, ou seja, a radiância total refletida por um alvo localizado em determinado local da superfície terrestre, após atravessar e interagir com a atmosfera e detectada pelo sensor, sem nenhum pré-tratamento. Posteriormente, quando os dados são transmitidos as estações de processamento de imagens, pode-se então realizar a calibração radiométrica das mesmas.

Conforme SLATER (1985), os procedimentos mais utilizados para a calibração radiométrica dos sistemas remotos podem ser classificados em três categorias, sendo:

1) Calibração de pré-lançamento: os números digitais podem ser calibrados utilizando os coeficientes de pré-lançamento, através da correção radiométrica e reescalonamento radiométrico.

2) Calibração em órbita usando uma fonte de calibração a bordo de satélites: realiza-se uma calibração antes do lançamento do sensor através do uso de uma referência e os detectores do sensor. Posteriormente, são calculados os ganhos e perdas de cada uma das bandas e ajustados através de regressão.

3) Calibração em órbita com as medidas coletadas em um campo de referência na superfície terrestre: a reflectância e dados atmosféricos de campo são coletados simultaneamente com as passagens do satélite.

Conforme SCHOWENGERDT (2007), a correção radiométrica é utilizada para eliminação dos efeitos de interferências da atmosfera e da topografia, reduzir os ruídos e calibrar os detectores, tornando possível aproximar estes dados de características biofísicas dos alvos em superfície. Assim, esta correção radiométrica permite que os números digitais das imagens sejam transformados em valores físicos como reflectância ou radiância.

Abaixo estão apresentadas as expressões (2 e 3) utilizadas para realizar a transformação de número digitais original para radiância conforme exposto por CHANDER *et al.* (2007) e MARKHAM e BARKER (1986).

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX} \right) * QCAL \quad (2)$$

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{255} \right) * QCAL \quad (3)$$

Onde:

L_{λ} = radiância espectral;

$LMAX_{\lambda}$ = radiância espectral máxima, em $[W/(m^2 * sr * \mu m)]$;

$LMIN_{\lambda}$ = radiância espectral mínima, em $[W/(m^2 * sr * \mu m)]$;

$QCAL$ = contador digital;

$QCALMAX = 255$

$QCALMIN = 0$

A transformação dos valores de radiância em valores de reflectância visa a compensação nas diferenças quanto à irradiância solar no topo da atmosfera e o ângulo de incidência da radiação sobre o alvo, no momento da tomada das imagens. Para o cálculo da reflectância através do uso do valor da radiância espectral (L_{λ}) através da equação (4):

$$\rho_P = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s} \quad (4)$$

Onde:

ρ_P = reflectância, adimensional;

$\pi = 3,14159265$;

d = distância normalizada Terra-Sol em unidades astronômicas;

$ESUN_{\lambda}$ = constante solar, em mW/cm^2 ;

θ_s = ângulo zenital solar no centro da imagem, em graus.

Assim, para a realização da conversão dos valores de radiância para valores de reflectância, consideram-se os parâmetros relacionados ao momento da aquisição da imagem.

CHUVIECO (1990) cita que em trabalhos cujo alvo é o estudo da vegetação, em geral, é necessário estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais (DN's) da imagem e outros possíveis parâmetros alvo de interesse. Assim, este autor recomenda que a conversão dos DN's para reflectância, com finalidade de

minimizar a variabilidade de condições de iluminação no comportamento espectral do alvo.

3.3.1.2 Geração das Imagens Índice de Vegetação

Os índices de vegetação são amplamente utilizados como indicadores da presença/ausência da vegetação, bem como, para leitura de informações sobre a condição da vegetação, geralmente baseados em combinações lineares, razões ou transformações de valores espectrais.

Estas transformações ou gerações possuem função de realçar a contribuição espectral da vegetação, enquanto minimiza a contribuição espectral do solo, ângulo solar, vegetação senescente e da interação com a atmosfera.

Existem muitos índices de vegetação e muitos deles são redundantes em termos de funcionalidade e informações. É fato também que muitos dos índices fazem uso da relação inversa entre as refletâncias no vermelho e no infravermelho próximo associada com a vegetação verde sadia. Abaixo serão descritos os índices de vegetação testados neste trabalho.

3.3.1.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI

Em função da sua extensa aplicabilidade nos estudos de monitoramento da vegetação o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index*, conhecido como NDVI foi proposto por ROUSE *et al.* (1973), sendo obtido pela seguinte equação (5):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (5)$$

Onde:

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo, adimensional;

R = reflectância na banda referente ao vermelho, adimensional.

O NDVI assume valores entre 0,1 e 0,6, os valores altos estão associados com altas densidades de vegetação saudável. Poeira, aerossóis, gases atmosféricos na atmosfera, bem como nuvens dentro do *pixel* agem no sentido de aumentar a reflectância na banda do visível em relação a banda do infravermelho, reduzindo assim o valor do NDVI calculado. DEERING (1978) *apud* JACKSON e HUETE (1991) relata que a vegetação esparsa podia ser realçada utilizando este índice, portanto o NDVI é sensível para vegetações esparsas. Este índice foi calculado para este trabalho.

3.3.1.2.2 Índice de Vegetação Realçado - EVI

Conforme JENSEN (2009), em inglês este índice é denominado *Enhanced Vegetation Index* e por isso sua sigla original EVI. Este índice foi desenvolvido pelo Modis *Land Discipline Group* para o sensor Modis originalmente. O mesmo autor comenta que este índice tem melhorado a sensibilidade para regiões de alta biomassa, permitindo um melhor desempenho do monitoramento da vegetação através da influência atmosférica (HUETE *et al.*, 1997; HUETE e JUSTICE, 1999; HUETE *et al.*, 2002 *apud* JENSEN, 2009).

Segundo NOVO *et al.* (2005), em decorrência do impacto do solo sobre os valores do NDVI é que o EVI (Enhanced Vegetation Index – Índice de Vegetação Melhorado) foi concebido, visando reduzir o efeito do substrato. Abaixo é apresentada a equação de obtenção do EVI (6).

$$EVI = G \frac{NIR - R}{NIR + C_1 * R - C_2 * B + L} (1 + L) \quad (6)$$

Onde:

G = fator de ganho (2,5);

NIR = reflectância na banda referente ao infravermelho próximo, adimensional;

R = reflectância na banda referente ao vermelho, adimensional;

B = reflectância na banda referente ao azul, adimensional;

L = fator de ajuste para os solos (1,0);

C_1 e C_2 = coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha em função do espalhamento atmosférico por aerossóis (6 e 7,5 respectivamente).

Apesar de desenvolvido inicialmente para o sensor MODIS, alguns autores têm aplicado este índice a outros sensores como MACHADO *et al.* (2009) e NONATO e RODRIGUES (2009), que aplicaram este índice de vegetação para o sensor Landsat 5 TM, considerando os mesmos valores dos coeficientes C_1 e C_2 , bem como o mesmo fator de ajuste de solos (L).

3.3.1.3 Geração das 1ª e 2ª Componentes Principais

Sabe-se que diferentes bandas de sensores multiespectrais muitas vezes são altamente correlacionadas e assim, podem conter informações redundantes. MOITA NETO e MOITA (1998) citam que vários pesquisadores mencionam a aplicação desta técnica para reduzir a redundância e correlação entre as bandas avaliadas. Dentre estas possibilidades está a técnica de análise de componentes principais.

Conforme já conceituado, a análise de componentes principais consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados (MOITA NETO e MOITA, 1998). Em outras palavras, as n -variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n -componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante. CENTENO (2004) diz que do ponto de vista estatístico o objetivo das componentes principais consiste em representar um conjunto de dados usando um novo conjunto de variáveis, combinações lineares das demais.

Desta forma, para a geração das componentes principais foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do sensor TM do satélite Landsat 5. A partir dos valores originais das bandas são calculados os autovalores da matriz de variância-covariância. CENTENO (2004) explica que cada autovalor estará associado a um autovetor através de uma equação. Desta forma, conhecendo o autovalor será

possível encontrar o autovetor correspondente que definirá a direção no espaço das observações como uma combinação linear dos dados originais. Este novo conjunto de eixos é conhecido como componentes principais da matriz original, sendo paralelos ao eixo de maior variação. Maiores detalhes sobre a aplicação desta técnica poderão ser encontrados nos trabalhos de DU *et al.* (2002), EKLUNDH e SINGH (1993), SINGH e HARRISON (1985), FUNG e LEDREW (1987), BYRNE *et al.* (1980), HARRIS (2001), entre outros.

3.3.2 Desenvolvimento do Mapa Referência ou Testemunha

Para validar os resultados foi necessário gerar uma avaliação denominada de referência ou testemunha. Esta avaliação foi realizada através da segmentação digital das imagens de satélite e posterior classificação visual das mesmas. No entanto, apesar das classificações terem sido de forma visual, houve checagem de campo e também, validação das informações classificadas com profissionais da área de engenharia agrônoma que atuavam na região.

Em seguida, as classificações digitais foram cruzadas com o objetivo de avaliação das classes de mudanças e de não mudanças. Entretanto, como bem citado por COPPIN *et al.* (2004), a detecção de alterações através de interpretação visual é muito difícil de reprodução tendo em vista que cada interprete pode produzir diferentes resultados e possuir padrões diferenciados de interpretação. Da mesma forma, complementa ainda que a avaliação visual quase que sempre, proporciona custos maiores para aquisição das informações.

Ainda, visando possibilitar a comparação de resultados com base em situações históricas, muitos autores lançaram mão, em seus trabalhos, de fontes secundárias de dados para comparação. Este é o caso de MÁZ (1998), que a partir de dados LANDSAT/MSS, utilizou variadas técnicas de processamento digital como, diferenciação de imagens, diferenciação de índices de vegetação (NDVI), análise de componentes principais, comparação pós-classificação, tendo fotografias aéreas como fonte de avaliação da acurácia dos resultados. Outros autores apresentam tal solução para verificação como: BERNARDES (2006), GONÇALVES, *et al.* (2005),

WEBER e SANTOS (1994), BERNARDES, *et al.* (2007), LI (2009), VAN DEN BROEK *et al.* (2004), STUART *et al.* (2008), entre outros.

Também foi realizada uma avaliação em campo com o objetivo de retratar a situação atual encontrada na área de avaliação e assim, possibilitar a validação dos resultados encontrados pelos algoritmos de detecção de mudanças.

3.3.3 Desenvolvimento e Aplicação do Algoritmo de Detecção de Mudanças

3.3.3.1 Avaliação das Classes de Interesse

Foram avaliadas as bandas 3, banda 4, banda 5, índice de vegetação EVI, índice de vegetação NDVI, 1ª componente principal e 2ª componente principal nos dois momentos temporais (ano de 1989 e ano de 2009). O resultado desta diferença teve de ser re-escalado tendo em vista que esta diferença em algumas situações foi negativa, fato este que acabaria dificultando a interface com as imagens representadas tendo em vista que as mesmas eram de 8 bits (0-255).

Conforme QUIRINO *et al.* (2005), no trabalho desenvolvido por MALDONADO (2004), que resultou na proposição da técnica RCEN, após o cálculo do ângulo de rotação definido pela reta de não mudança, o par de imagens era rotacionado no sentido anti-horário até que o eixo x se tornasse paralelo ao eixo de não mudança. Neste caso precisaríamos calcular o ângulo de rotação e aplicar um algoritmo de rotação para as imagens.

Neste trabalho, a proposição da avaliação da detecção de mudanças baseou-se no conceito de cálculos das distâncias entre a reta ajustada, para a classe de não mudança e outros usos, sem a necessidade de realização da técnica de rotação e cada uma das posições das imagens de satélite avaliadas. As de detecção que participaram do ajuste da reta também apresentam mudanças em relação a outras técnicas propostas. Em trabalhos como MALDONADO (2004) para as classes que não interessavam na avaliação como, por exemplo, nuvens e sombras, criaram-se máscaras retirando-as da avaliação e aplicação do algoritmo.

Já neste trabalho, as amostras que não interessavam participaram do ajuste da equação de não mudança (que na verdade retrata áreas de não interesse).

Para o desenvolvimento da modelagem, foi realizada uma amostragem para avaliação dos números digitais das situações avaliadas para 4 classes, sendo:

A) Acréscimo de Vegetação Florestal (ou seja, entre 1989 e 2009 houve aumento na cobertura florestal nestes locais);

B) Decréscimo de Vegetação Florestal (ou seja, entre 1989 e 2009 houve supressão de vegetação florestal nestes locais);

C) Não-Mudança (ou seja, áreas onde não ocorreu alteração de uso entre os anos de 1989 e 2009);

D) Não-Vegetação (ou seja, áreas onde em 1989 não ocorria vegetação de porte florestal e que sofreram alteração de uso do solo em 2009 para outros usos que não os florestais).

Para cada ano, foram coletadas amostras de cada uma das 4 classes, sendo que para cada uma das situações avaliadas existiam 40 amostras de cada data, totalizando assim, 80 amostras para uma situação avaliada. Para o ajuste especificamente foram utilizadas as amostras das classes “C” e “D”, que retratam as características das classes de não mudanças e outros usos, que não seriam alvo do interesse imediato.

3.3.3.2 Ajuste da Reta de Não Mudança e Outros Usos

Para que fosse possível este ajuste, foram criados arquivos no formato Arquivos de Texto Comum (.txt), contendo 2 colunas e 20 linhas, sendo que a primeira coluna representava as amostras da data 1 (1989) e a segunda coluna as amostras da data 2 (2009), sendo um arquivo para cada situação avaliada (banda3.txt, banda4.txt, banda5.txt, NDVI.txt, EVI.txt, 1CP.txt e 2CP.txt).

No ajuste foi utilizada a equação geral da reta, que subsidiou o cálculo da distancia de cada ponto da imagem (data 1 e data 2) até a reta ajustada. A equação geral é apresentada a seguir (7):

$$a x + b y + c = 0 \quad (7)$$

Onde:

a, b, c = coeficientes ajustados para as retas;

x, y = números digitais nas datas 1 e 2, respectivamente.

3.3.3.3 Aplicação do Cálculo das Distâncias para duas Imagens

Para calcular a distância das duas imagens até a reta de não mudanças e outros usos, lançou-se mão da geometria analítica, que em um de seus tópicos apresenta a relação da distância ponto-reta.

A distância do ponto a reta é dada pela equação abaixo apresentada e que implementada no algoritmo do MATLAB, que no decorrer da execução da rotina, já possui na memória a equação (8) da reta ajustada pelas amostras acima mencionadas.

$$d(P,R) = \frac{|ax + by + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (8)$$

Onde:

a, b, c = coeficientes ajustados para as retas;

x, y = números digitais nas datas 1 e 2, respectivamente.

A partir do cálculo das distâncias de cada posição da imagem (considerando as duas datas) até a reta geral ajustada, confeccionaram-se os histogramas de distâncias para cada situação e apresenta a imagem de distâncias resultante deste processamento.

3.3.3.4 Detecção dos Limiares das Classes

A imagem resultante da aplicação do cálculo das distâncias deve expressar todas as alterações que ocorreram naquele território avaliado naquele período de tempo. Entretanto, esta imagem ainda não é capaz de retratá-las tendo em vista que a sensibilidade da técnica é alta e assim, para que possamos ter o entendimento das classes desejadas, será necessária a aplicação de alguma técnica que permita

explorar os limiares das classes desejadas e desta forma, permitir a extração correta destas informações.

Para tanto, CANTY (2007) e NUNES (2007) citam que quando o histograma de uma distribuição é explicado pela distribuição normal, podemos usar o desvio padrão para definir o grau de sensibilidade da detecção de mudanças e assim, definir diferentes limiares para detectar as alterações que possam vir a ocorrer.

Para cada situação testada acima, foi realizada a avaliação dos limiares de mudanças.

Segundo SPIEGEL (1961), em uma distribuição normal temos 68,27% dos dados situados entre -1σ e $+1\sigma$ definidos como áreas de não mudanças ou não florestas. Ainda, entre as classes de -1σ e -2σ e ainda entre $+1\sigma$ e $+2\sigma$ tem-se 27,18% dos dados e, por fim $<-2\sigma$ e $>+2\sigma$ teremos o restante de 4,55% dos dados, perfazendo assim o total de 100% da distribuição.

Algumas aplicações da distribuição normal para tentar explicar as mudanças de uso do solo a partir de subtração de bandas de imagens de satélite foram discutidas em LOVELAND *et al.* (2002) e LUNETTA *et al.* (2004).

Desta forma, aplicando os limiares nas imagens resultantes do cálculo das distâncias entre os *pixels* das imagens e a equação geral da reta e, considerando os valores de média e desvio padrão de todas as situações, foi possível estabelecer uma relação entre as classes aqui propostas e a distribuição normal do histograma de frequências, gerados pela rotina desenvolvida que foi implementada no MATLAB.

O resultado desta etapa é um novo histograma agora considerando as classes de objetivo da detecção de mudanças e a imagem resultante da classificação a partir da distribuição normal.

3.3.3.5 Aplicação do Filtro de Média

O filtro de média é muito aplicado e conhecido em trabalhos de avaliação de uso do solo, pois se trata de um filtro de suavização que mantém as bordas mas auxilia a limpar os *pixels* isolados nas imagens geradas. SCHOWENGERDT (2007) comenta que o seu efeito é o de substituir o nível de cinza de um *pixel* pela média aritmética deste *pixel* e de seus vizinhos. Vale destacar que alguns autores, após testes, indicaram o uso deste tipo de filtro para as imagens do satélite Landsat 5,

como: GUIMARÃES *et al.* (2009), HEJMANOWSK e MULARZ (2000), ISMAIL e JUSOFF (2008), JUNIOR, *et al.* (2008), NASCIMENTO (1998), KACHMAR *et al.* (2005), CHARIF-CHEFCHAOUNI e SCHONFELD (1995), NAGAO e MATSUYAMA (1979), entre outros.

Neste caso específico para projetos de REDD, existe a necessidade de monitorar as áreas florestais de acordo com a definição de florestas para o Governo Brasileiro, que ficou retratada na Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) que em seu Artigo 3º descreve os parâmetros que define floresta para o Brasil:

“Para fins do requisito de participação nas atividades de projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, conforme a seção F, parágrafo 8, do Anexo II definido no artigo 2 acima, define-se: a) valor mínimo de cobertura de copa das árvores: 30 por cento; b) valor mínimo de área de terra: 1 hectare, e c) valor mínimo de altura de árvore: 5 metros.”

Desta forma, é importante destacar que a área mínima que deve ser levada em consideração é 1 hectare. HEROLD (2009) comenta que a resolução espacial do satélite determina a mínima área detectada e consequentemente a mínima área mapeável. Complementa ainda que as resolução médias (até 30 metros) são indicadas para operação em áreas extensas sendo possível detectar áreas com cerca de 0,5 – 1,0 hectare. Caso seja necessária a detecção de área inferior à 0,1 hectare, será necessário utilizar sensores com resolução espacial inferior a 5 metros.

Por este fato, a aplicação do filtro de média trouxe uma solução para a exclusão de *pixels* isolados que não estariam enquadradas dentro do conceito de florestal.

3.3.3.6 Avaliação do Desempenho dos Algoritmos

Conforme SESTINI *et al.* (2007), a precisão considera grau de proximidade dos resultados com os valores aceitos como verdadeiros. LUNETTA e ELVIDGE (1998), complementam que a maioria dos recursos ambientais são extremamente dinâmicos e na maioria dos casos, a resolução temporal e geométrica dados de sensoriamento remoto não pode abranger o domínio da dinâmica evolução dos parâmetros ambientais (condições atmosféricas, umidade do solo, meio ambiente e

de outros fenômenos relacionados). Portanto, é muito importante a escolha adequada do sensor e a época de aplicação das detecções de mudanças.

Conforme mencionado por LUNETTA e ELVIDGE (1998), o procedimento mais rigoroso para o processo de avaliação é aquele em que cada *pixel* da imagem temática tenha um *pixel* correspondente na imagem de referência. Entretanto, este procedimento é inadequado para projetos envolvendo imagens orbitais sobre grandes áreas. Sendo assim, recomenda-se a aplicação de técnicas de amostragens para avaliar imagens temáticas geradas de sensoriamento remoto. Tem sido recomendado em torno de 250 *pixels* de referência por classe mais ou menos 5%. Assim, caso esta indicação fosse levada em consideração (250 *pixels*) e multiplicando pela área de cada *pixel* (900 m²) teríamos uma área total amostrada de 22,5 hectares. Entretanto, por se tratar de uma área de grande extensão preferiu-se aumentar a amostragem indicada anteriormente.

ZĂVOIANU, CARAMIZOIUB e BADEAA (2004) citam que um problema em verificar o resultado de uma detecção de mudança é que as classes têm grande tendência a ser representadas por um grande numero de pontos e que as classes pequenas ou mudanças pequenas, poderão não ser retratadas.

Desta forma, com o objetivo de minimizar esta dificuldade trabalhou-se com amostragem em áreas de 150 hectares cada, totalizando 30 unidades amostrais, totalizando assim 4.500 hectares avaliados.

A distribuição das amostras seguiu o processo aleatório, conforme recomendado por JIN *et al.* (2003), sendo lançado mão da ferramenta DNR Forest que possui um procedimento de distribuição de amostras dentro de limites vetoriais selecionados.

Para interpretar os resultados das áreas amostradas, foram definidas as situações possíveis de ocorrência com a aplicação do classificador e comparação com a imagem de referência conforme apresentado na Tabela 6. Com o objetivo de facilitar a interpretação destes resultados, as imagens classificadas foram migradas para o software ARCGIS 9.0 e convertidas para vetores. A partir dos limites espaciais das unidades amostrais e dos resultados obtidos para as situações testadas, os erros foram avaliados.

As primeiras possibilidades avaliadas foram os acertos, sendo separados em 3 classes, sendo eles:

- ✓ Tipo 1 - Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi corretamente detectada como área de aumento pelo processamento;
- ✓ Tipo 2 - Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi corretamente detectada como área de decréscimo pelo processamento e;
- ✓ Tipo 3 - Era uma área de não mudança na referência e foi corretamente detectada como área de não mudança pelo processamento.

Na sequência foram avaliadas as possibilidades de erros no desempenho do classificador, sendo eles:

- ✓ Tipo 1 - Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como decréscimo de vegetação pelo processamento;
- ✓ Tipo 2 - Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como não mudança pelo processamento;
- ✓ Tipo 3 - Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como aumento de vegetação pelo processamento;
- ✓ Tipo 4 - Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como não mudança pelo processamento;
- ✓ Tipo 5 - Era uma área de não mudança na referência e foi erroneamente classificada como aumento de vegetação pelo processamento e;
- ✓ Tipo 6 - Era uma área de não mudança na referência e foi erroneamente classificada como decréscimo de vegetação pelo processamento.

Assim, cruzando-se as informações dos mapas avaliados com a referência, foi possível realizar a quantificação dos acertos e erros atribuídos ao mapeamento. Para tanto os dados foram tabulados e sumarizados para as parcelas amostrais.

Para a avaliação do desempenho foram utilizados dois principais indicadores sendo eles: precisão global (Q) e coeficiente Kappa (K).

Conforme WATZLAWICK *et al.* (2003), a partir da elaboração da matriz de confusão, pode-se estabelecer o primeiro parâmetro de avaliação da precisão do classificador, chamado exatidão ou precisão global. O seu valor é calculado pela divisão das somas das entradas que formam a diagonal principal da matriz, ou seja, o número de classificações corretas pelo número total de amostras utilizadas.

Tabela 6 – Situações possíveis de ocorrência com a aplicação da classificação e comparação com a referência.

Situação		Descrição
Acertos	Tipo 1a	Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi corretamente detectado como área de aumento pelo processamento.
	Tipo 2a	Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi corretamente detectado como área de decréscimo pelo processamento.
	Tipo 3a	Era uma área de não mudança na referência e foi corretamente detectado como área de não mudança pelo processamento.
Erros	Tipo 1e	Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como decréscimo de vegetação pelo processamento.
	Tipo 2e	Era uma área de aumento de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como não mudança pelo processamento.
	Tipo 3e	Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como aumento de vegetação pelo processamento.
	Tipo 4e	Era uma área de decréscimo de vegetação na referência e foi erroneamente classificada como não mudança pelo processamento.
	Tipo 5e	Era uma área de não mudança na referência e foi erroneamente classificada como aumento de vegetação pelo processamento.
	Tipo 6e	Era uma área de não mudança na referência e foi erroneamente classificada como decréscimo de vegetação pelo processamento.

LUNETTA e ELVIDGE (1998) comentam que este valor representa a precisão pensando na área total de avaliação e assim, não focando nas classes individualizadas.

Abaixo está a expressão (9) que expressa o cálculo da precisão global da detecção de mudanças utilizada neste trabalho.

$$Q = \frac{\sum A_c}{\sum A_t} * 100 \quad (9)$$

Onde:

Q= precisão global;

$\sum A_c$ = somatório das áreas corretamente detectadas dentro das amostras;

ΣAt = somatório das áreas totais amostradas.

COHEN (1960) *apud* ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986) desenvolveu um coeficiente de concordância denominado Kappa. CONGALTON e MEAD (1983) afirmam que a estatística Kappa pode ser utilizada na avaliação de classificadores. Segundo HUDSON e RAMM (1987) e MOREIRA (2001) o coeficiente Kappa pode ser estimada a partir dos totais marginais da matriz de erros, pela seguinte equação (10):

$$K = \frac{N * \sum_{i=1}^M M(i,i) - \sum_{i=1}^M SL(i) * SC(i)}{N^2 - \sum_{i=1}^M SL(i) * SC(i)} \quad (10)$$

Onde:

K=coeficiente Kappa;

N= número de *pixels*/área de verificação;

M (i,i)= número de classes;

SC (i)= soma parcial da coluna i da matriz de confusão;

SL (i)= soma parcial da linha i da matriz de confusão.

MOREIRA (2001) cita que os autores LANDIS e KOCH (1977) propuseram uma modificação nos parâmetros de interpretação deste coeficiente, sendo apresentados a seguir na Tabela 7.

Tabela 7 – Relação entre os valores do coeficiente Kappa e o desempenho da classificação.

Coeficiente Kappa	Desempenho da Classificação
< 0	Péssimo
$0 < K \leq 0,2$	Mau
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito bom
$0,8 < K \leq 1,0$	Excelente

Também foram calculados os erros de omissão e inclusão que servem para avaliar o quanto uma classe foi sub ou superestimada. MOREIRA (2001) cita que os erros de omissão são *pixels* pertencentes a uma determinada classe que foram erroneamente classificados como sendo de outra, ou seja, foram omitidos da classe. Podem ser obtidos dividindo o numero de *pixels* incorretamente classificados da

classe pela soma parcial da linha da mesma classe, conforme equação (11).

$$E_{om(i)} = \frac{SL(i) - M(i,i)}{SL(i)} * 100 \quad (11)$$

Onde:

M (i,i)= número de classes;

SL (i)= soma parcial da linha i da matriz de confusão.

O erro de inclusão corresponde aos *pixels* que sendo na realidade de outra classe, foram incluídos na classe considerada, podendo ser medidos através da equação 12 (MOREIRA, 2001).

$$E_{in(i)} = \frac{SC(i) - M(i,i)}{SC(i)} * 100 \quad (12)$$

Onde:

M (i,i)= número de classes;

SC (i)= soma parcial da coluna i da matriz de confusão.

A partir destes cálculos podem-se obter os erros de omissão servem para determinar com que precisão uma determinada classe foi estimada e o erro inclusão indica o quanto esta classe foi superestimada, relacionadas como a exatidão do ponto de vista do produtor e exatidão do ponto de vista do usuário (MOREIRA, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONFECÇÃO DO MAPA REFERÊNCIA

Para a confecção do mapa de referência foi necessária a confecção de uma chave de interpretação, adaptando os principais indicadores de fotointerpretação, para aplicação nas imagens de satélite. A chave de interpretação resultante está apresentada abaixo (Tabela 8). Os resultados sofreram verificação em campo visando avaliar o desempenho e correta interpretação dos mesmos.

Tabela 8 – Critérios utilizados para a interpretação visual das imagens.

Classe	Descritor	Característica
Floresta ¹	Textura	Rugosa à lisa
	Cor	Na composição TM RGB:453, vermelho médio a escuro
	Limite	Irregular a regular
	Forma	Irregular a regular
Outros Usos Não Florestais		Restante das áreas

Assim, a partir do mapa produzido a partir da detecção visual dos usos florestais e não florestais para os anos de 1989 e 2009 da cena avaliada, foram calculadas as respectivas áreas que estão apresentadas na Tabela 9. Pode-se perceber que dos 389.666,70 hectares avaliados, 78,31% eram áreas não florestais e 21,69% eram áreas florestais para o ano de 1989. Os valores encontrados para o ano de 2009 são avaliados, ou seja, 75,12% eram áreas não florestais e 24,88% eram áreas florestais percebe-se que houve um aumento de áreas florestais entre este período avaliado.

¹ Conforme definição da CIMGC

Tabela 9 – Áreas Testemunhas para as classes de uso para os anos de 1989 e 2009, através da interpretação visual.

Classes de Uso	Área (ha) para o Ano 1989	%	Área (ha) para o Ano 2009	%
Áreas Florestais	84.503,97	21,69%	96.963,03	24,88%
Áreas Não-Florestais	305.162,73	78,31%	292.703,67	75,12%
Total	389.666,70	100,00%	389.666,70	100,00%
Área Sem Mudança na Cobertura Florestal	49.363,46 hectares			

De todas as áreas avaliadas, pode-se afirmar ainda que 49.363,46 hectares não sofreram nenhum tipo de alteração no uso do solo entre este período avaliado conforme apresentado na Tabela 9 acima.

Para KENNEDY *et al.* (2009), numa detecção de mudanças com o objetivo de monitoramento de recursos naturais, é importante que exista (m) mapa (s) de uso do solo que possam servir como apoio para a interpretação ou mesmo, para a aplicação de algoritmos para esta finalidade. Entretanto, como o próprio autor menciona, os mapas de uso do solo são alterados em função do tempo e, muitas vezes, em função dos anos necessários nas avaliações, não é possível possuir esta informação preliminar, quer por ausência de mapas já confeccionados quer pela impossibilidade de apoio em campo.

4.2 CHECAGEM EM CAMPO DA SITUAÇÃO ATUAL DAS ÁREAS

Com o mapa de classe de uso de 2009, confeccionado para avaliação da testemunha, realizou-se uma checagem de campo na área avaliada. Assim, foram visitados 18 pontos de apoio para a interpretação visual sendo que de cada ponto foram coletadas as coordenadas no sistema de projeção UTM, com referência ao datum SAD-69.

Abaixo nas Fotos 1 a 36, estão representados estes pontos avaliados em campo com as coordenadas coletadas no centro dos mesmos e uma breve descrição da situação encontrada na área bem como, um breve relato histórico de uso quando foi possível conversar com moradores da região que possuíam condições de subsidiar tais afirmativas.



Fotos 1 e 2 - Ponto 1 - Coordenadas X: 315.059 e Y: 7.184.260

Estes pontos apresentavam ocorrência de vegetação nativa de porte florestal sendo que a vegetação nativa foi suprimida a aproximadamente 20 anos sendo então substituída por plantios florestais do gênero *Eucalyptus*. Na imagem de satélite do ano de 1989 estas áreas já não apresentavam padrões de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 3 e 4 - Ponto 2 - Coordenadas X: 303.582 e Y: 7.176.767

Estas áreas possuíam florestas nativas de porte florestal e foram abertas próximas ao ano de 1990 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção agrícola. Nas imagens de satélite do ano de 1989 estas áreas ainda possuíam padrões de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 5 e 6 - Ponto 3 - Coordenadas X: 301.329 e Y: 7.176.3582

Conforme se observa nestas fotos, esta área foi aberta recentemente restando ainda resquícios de sua exploração, como: tocos e/ou leiras de materiais lenhosos. Em parte da área foi realizada a destoca e o enleiramento do material lenhoso. Conforme constatado pela imagem de satélite do ano de 1989, esta área apresentava padrões de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 7 e 8 - Ponto 4 - Coordenadas X: 301.632 e Y: 7.175.310

Apesar de não ter sofrido um corte raso, esta área sofreu uma exploração seletiva a pouco tempo. Ainda é possível observar alguns troncos íntegros descartados pela exploração bem como seus respectivos tocos. Também se pode perceber a presença de regeneração natural que está colonizando a área. É importante também destacar que existem indícios de passagem de fogo pela mesma. Na imagem do ano de 1989 existe a ocorrência de padrão de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 9 e 10 - Ponto 5 - Coordenadas X: 316.026 e Y: 7.177.027

Esta área possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área agrícola próximo ao ano de 1996 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção de trigo. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 11 e 12 - Ponto 6 - Coordenadas X: 315.167 e Y: 7.173.949

Esta área também possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área agrícola próximo ao ano de 1996 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção agrícola. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



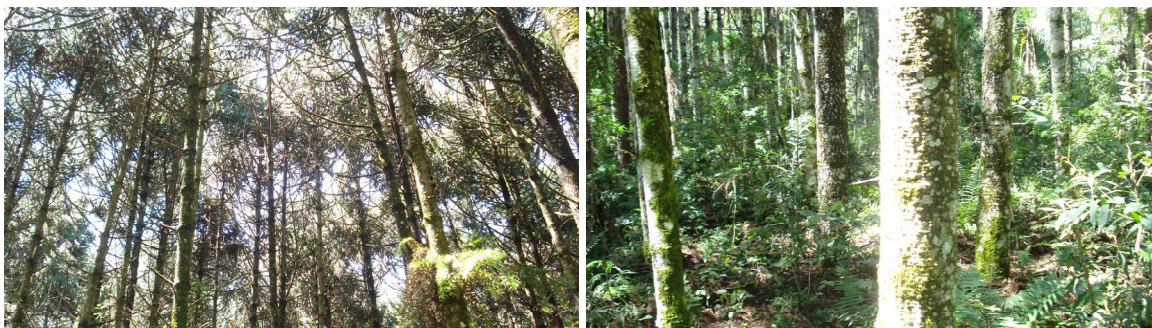
Fotos 13 e 14 - Ponto 7 - Coordenadas X: 316.688 e Y: 7.175.307

Esta área também possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área agrícola próximo ao ano de 1996 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção agrícola. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 15 e 16 - Ponto 8 - Coordenadas X: 312.037 e Y: 7.172.631

Esta área possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área de pastagens, próximo ao ano de 1995 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas à pecuária. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 17 e 18 – Ponto 9 – Coordenadas X: 313.307 e Y: 7.171.752

O plantio da espécie *Araucaria angustifolia* que aparece acima, foi implantando no ano de 1991 e hoje se encontra com 18 anos. Neste plantio houve a passagem de fogo e também foi aplicado recentemente desbastes seletivos na área. Na imagem de 1989 já não existia padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



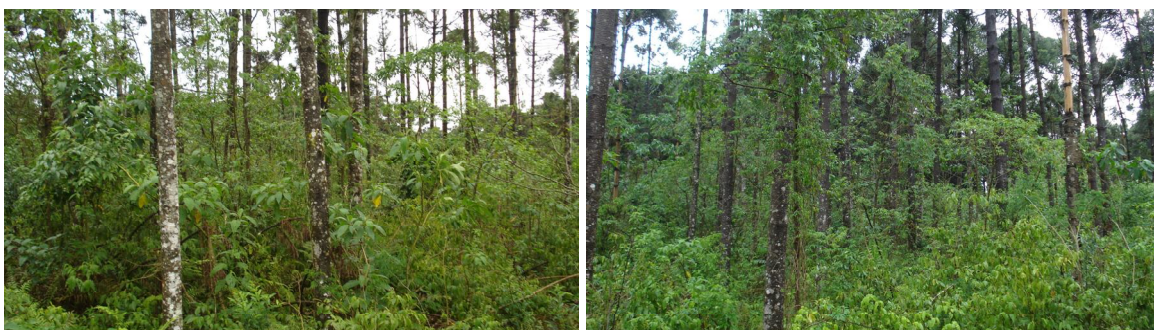
Fotos 19 e 20 - Ponto 10 - Coordenadas X: 311.298 e Y: 7.168.142

Esta área era uma vegetação nativa de porte florestal até poucos anos. Recentemente sofreu um corte quase que raso, sendo que pouquíssimos indivíduos remanesceram. Apesar de a regeneração natural estar presente de forma abundante pela área, ainda é possível constatar que houve ocorrência de fogo na área pelas marcas que remanesceram nos indivíduos que restaram. Na imagem do ano de 1989 existe a ocorrência de padrão de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 21 e 22 - Ponto 11 - Coordenadas X: 313.389 e Y: 7.175.382

Esta área é um plantio do gênero *Pinus* plantado no ano de 1988, portanto hoje com 21 anos de idade. Neste plantio houve a passagem de fogo seguida por uma exploração florestal, conforme pode se observar acima com a presença de tocos e madeira empilhada ao fundo. Na imagem de satélite de 1989 a área aparecia sem a presença de vegetação de porte arbóreo tendo em vista que havia sido recém plantada. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 23 e 24 - Ponto 12 - Coordenadas X: 313.606 e Y: 7.176.425

Esta área é um plantio da espécie *Araucaria angustifolia* plantado no ano de 1991 e hoje com 18 anos de idade. Nesta área houve a passagem de fogo no ano de 2006 sendo que muitas árvores sobreviveram a tal evento e hoje existe abundante regeneração natural nas áreas. Algumas árvores apresentam declínio vital com aquela apresentada na fotografia 24 no canto direito cuja copa lascou-se do tronco e não apresenta mais galhos. Conforme se observa na imagem de satélite de 1989 a área já se encontrava aberta, sendo utilizada por outros usos que não o florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 25 e 26 - Ponto 13 - Coordenadas X: 320.022 e Y: 7.181.186

Esta área é um plantio do gênero *Pinus* plantado no ano de 1987, portanto hoje com 22 anos de idade. Neste plantio houve a passagem de fogo seguida por uma exploração florestal, conforme pode se observar acima. Na imagem de satélite de 1989 a área aparecia sem a presença de vegetação de porte arbóreo tendo em vista que havia sido recém plantada. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 27 e 28 - Ponto 14 - Coordenadas X: 322.623 e Y: 7.170.806

Esta área também possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área agrícola próximo ao ano de 1993 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção agrícola. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 29 e 30 - Ponto 15 - Coordenadas X: 328.623 e Y: 7.172.687

Esta área também possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida para área agrícola próximo ao ano de 1993 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Hoje estas áreas encontram-se destinadas a produção agrícola. Na imagem de satélite do ano de 1989 existia ainda padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 31 e 32 - Ponto 16 - Coordenadas X: 318.140 e Y: 7.175.339

Esta área também possuía vegetação nativa de porte florestal, sendo convertida parcialmente para área agrícola próximo ao ano de 1988 conforme informações de técnicos da região que trabalhavam em empresas que detinham estas áreas. Ainda existiam indivíduos florestais esparsos de grande porte na área sendo que recentemente houve a passagem de fogo na mesma. Hoje estas áreas encontram-se temporariamente abandonada sem uso específico observado. Na imagem de satélite do ano de 1989 a área já não apresentava mais o padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 33 e 34 - Ponto 17 - Coordenadas X: 301.948 e Y: 7.173.826

Esta área encontra-se muito próxima ao Rio Iguaçu e foi recentemente desmatada através da passagem de fogo. Remanesceram alguns troncos queimados sobre as áreas e ainda não foram enleirados ou aproveitados. Tamaña brevidade do fato, ainda não houve indício de regeneração natural sobre a área. Na imagem de satélite do ano de 1989 a área apresentava o padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal deixando de apresentá-lo na imagem de 2009. Autor: CORTE, 2009.



Fotos 35 e 36 - Ponto 18 - Coordenadas X: 314.530 e Y: 7.169.730

Esta área encontra-se também muito próxima ao Rio Iguaçu e foi recentemente desmatada através da passagem de fogo. Remanesceram em pé alguns troncos e a maior parte está caída e queimada, sobre as áreas. A área apresenta início de regeneração natural. Na imagem de satélite do ano de 1989 a área apresentava o padrão espectral de vegetação nativa de porte florestal deixando de apresentá-lo na imagem de 2009. Autor: CORTE, 2009.

4.3 DESENVOLVIMENTO DOS ALGORITMOS DE NÃO MUDANÇAS (AUMENTO E DECRÉSCIMO DE FLORESTAS) E NÃO FLORESTAL

Com base nas amostras coletadas foram construídos gráficos que representam a relação das amostras nas duas datas avaliadas, no eixo X a data 1 (1989) e no eixo Y a data 2 (2009). Desta forma, foi possível buscar a relação de diferenciação entre dos padrões espectrais das amostras conforme suas mudanças temporais. Na Tabela 10 estão apresentadas as amostras coletadas.

No Anexo 1 estão apresentadas as bandas (3,4 e 5) do satélite Landsat 5 para as duas datas avaliadas, utilizadas neste trabalho.

Tabela 10 – Números digitais das amostras utilizadas para os ajustes das equações de não-mudanças.

Classe de Uso	Amostra	Banda 3		Banda 4		Banda 5		EVI		NDVI		CP1		CP2	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
Não-Mudança	1	12	27	139	130	0	0	159	104	150	167	28	11	129	125
	2	33	27	145	112	0	1	118	115	128	156	12	12	151	125
	3	33	27	127	112	0	5	132	72	123	156	28	10	150	112
	4	12	18	205	143	63	17	255	120	141	198	8	15	123	199
	5	12	18	139	107	35	14	172	105	142	182	7	7	154	136
	6	12	27	161	139	53	8	145	102	150	172	21	18	134	159
	7	23	27	78	125	0	0	117	99	114	164	16	12	141	73
	8	33	36	233	166	63	62	191	139	140	164	37	29	164	119
	9	33	18	83	71	0	14	142	158	105	152	0	10	192	74
	10	12	9	89	89	24	14	172	112	119	208	9	0	173	91
Acréscimo de Vegetação	1	66	9	139	98	142	0	52	255	54	255	0	87	167	151
	2	100	18	50	148	148	0	126	140	26	200	8	113	122	70
	3	133	27	34	125	154	0	76	178	44	164	2	142	141	51
	4	66	18	123	116	142	0	49	152	72	186	4	90	150	140
	5	200	9	6	175	148	0	26	255	11	230	9	136	84	0
	6	55	27	50	152	142	0	235	154	37	178	12	85	114	80
	7	111	9	56	121	138	0	125	203	16	220	0	78	147	48
	8	144	18	78	116	125	0	107	108	11	231	4	116	155	84
	9	78	9	34	179	125	0	255	193	17	218	5	83	92	52
	10	133	27	172	134	199	0	31	154	0	255	6	145	118	206
Decréscimo de Vegetação	1	23	118	123	112	41	170	192	86	214	0	134	23	140	124
	2	23	118	183	89	18	111	255	69	225	0	131	16	167	166
	3	23	137	194	179	69	170	205	9	229	0	186	38	77	188
	4	12	155	89	94	0	126	189	44	223	0	169	0	165	84
	5	1	146	83	152	0	142	255	1	248	5	161	0	107	82
	6	12	82	111	255	41	126	255	63	239	2,5	129	0	0	114
	7	12	164	111	49	18	150	229	32	229	0	171	4	210	108
	8	23	219	111	85	0	255	203	90	210	0	113	11	0	142
	9	23	173	145	170	41	150	156	17	219	0	158	25	62	141
	10	33	228	150	130	69	139	189	15	222	0	255	28	168	168
Não Vegetação	1	255	237	78	62	255	255	20	12	126	0	255	255	198	92
	2	255	255	50	125	255	255	13	19	126	0	255	250	143	67
	3	255	246	61	71	255	255	15	11	126	0	255	255	193	78
	4	167	109	134	229	170	183	0	29	85	0	169	162	33	161
	5	144	91	189	238	170	145	11	45	81	0	133	152	22	170
	6	245	155	50	161	170	140	15	1	124	0	204	248	97	69
	7	255	54	0	0	255	255	0	103	126	0	47	147	255	0
	8	233	113,5	0	0	255	255	17	0	126	0	124	174,5	255	9
	9	211	173	39	98	255	255	39	42	126	0	200	202	155	72
	10	189	164	72	103	176	194	42	45	126	0	183	176	150	76

D1 – Data 1 (1989); D2 – Data 2 (2009); EVI - Índice de Vegetação Realçado; NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; CP1 – Primeira Componente Principal; CP2 – Segunda Componente Principal.

A partir dos gráficos temporais dos números digitais que foram gerados para cada situação avaliada e das respectivas classes avaliadas, foi possível observar que para a maior parte destas situações apresentavam distinções claras entre os valores dos números digitais para o período avaliado (1989 e 2009) para as classes avaliadas (Vide Figuras 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19). Nestas figuras estão representadas as classes avaliadas, sendo: não-mudança em cinza, mudança com aumento de vegetação de porte florestal em azul, mudança com supressão de vegetação de porte florestal em vermelho e amostras de não vegetação de porte florestal em verde. Nestas figuras, seria esperado, caso houvesse a correção das imagens (em relação atmosfera), que a classe não mudança apresentasse um padrão linear das amostras (ou muito próximo disso). Como não houve tal correção (uma das vantagens deste método proposto), as amostras apresentam pequenas variações em relação os diferentes anos avaliados em relação à resposta espectral.

Entretanto nas amostras das situações da banda 4, do índice EVI e da 2ª Componente Principal, fica muito difícil perceber ou reconhecer padrões de reconhecimento de distinção entre as classes tendo em vista que as classes apresentam valores semelhantes de números digitais mesmo em situações de usos diferentes, para os anos avaliados.

Destes gráficos foram utilizadas apenas as amostras de não vegetação de porte arbóreo e não-mudança, para o ajuste da equação geral da reta para que fosse possível posteriormente o cálculo da distância de qualquer ponto da imagem (número digital) nas duas datas até a reta e também o ajuste da equação reduzida da reta, ambas ajustadas pelo método dos mínimos quadrados. Este ajuste faz parte da rotina implementada no MATLAB e cujos tópicos que fazem parte da mesma estão apresentados no Anexo 3. A parte da rotina que trata do ajuste da reta está comentada com o seguinte título: “%Cálculo dos parâmetros da equação da reta”. No caso dos projetos de REDD estas classes utilizadas para o ajuste da reta estariam representando as áreas com vegetação de porte arbóreo que não apresentaram mudanças de uso do solo, bem como, áreas não formadas por vegetação de porte arbóreo (ou seja, outros usos).

As áreas representadas na classe mudança +, (ou seja, acréscimo de vegetação de porte arbóreo), estariam representando áreas de regeneração natural ou de recuperação da cobertura florestal dentro de projetos de REDD. E as áreas

representadas pela classe mudança – (ou seja, decréscimo de vegetação de porte arbóreo) seriam, nos projetos REDD, um vazamento.

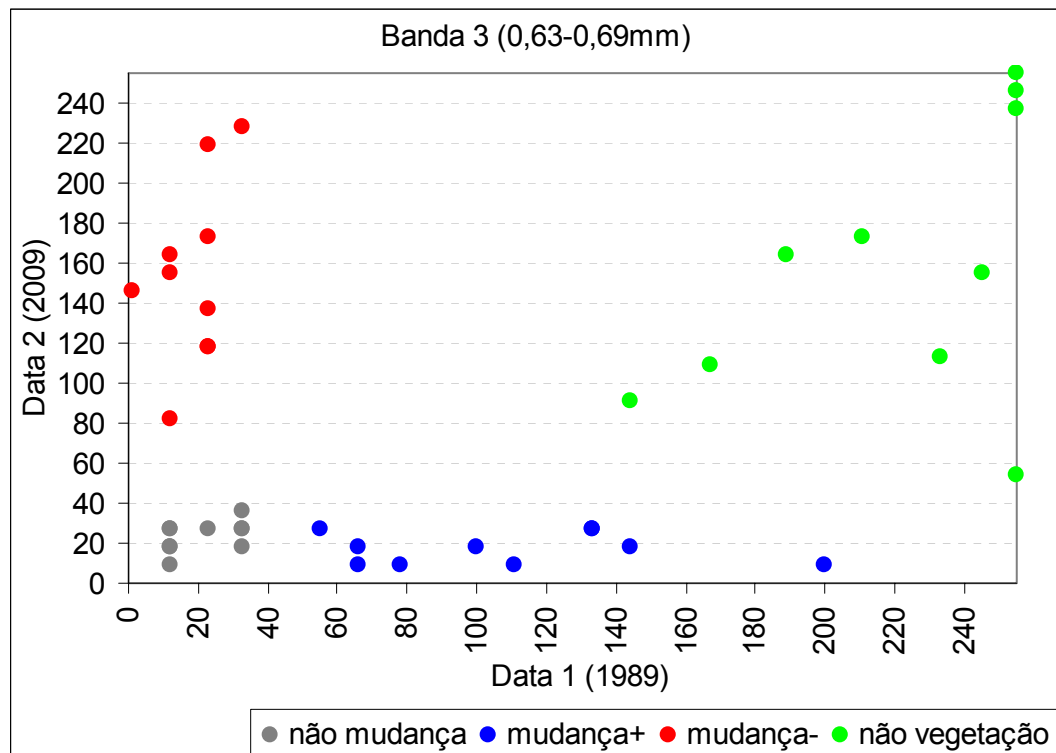


Figura 13 - Amostras das classes para a banda 3 nos anos avaliados (1989-2009).

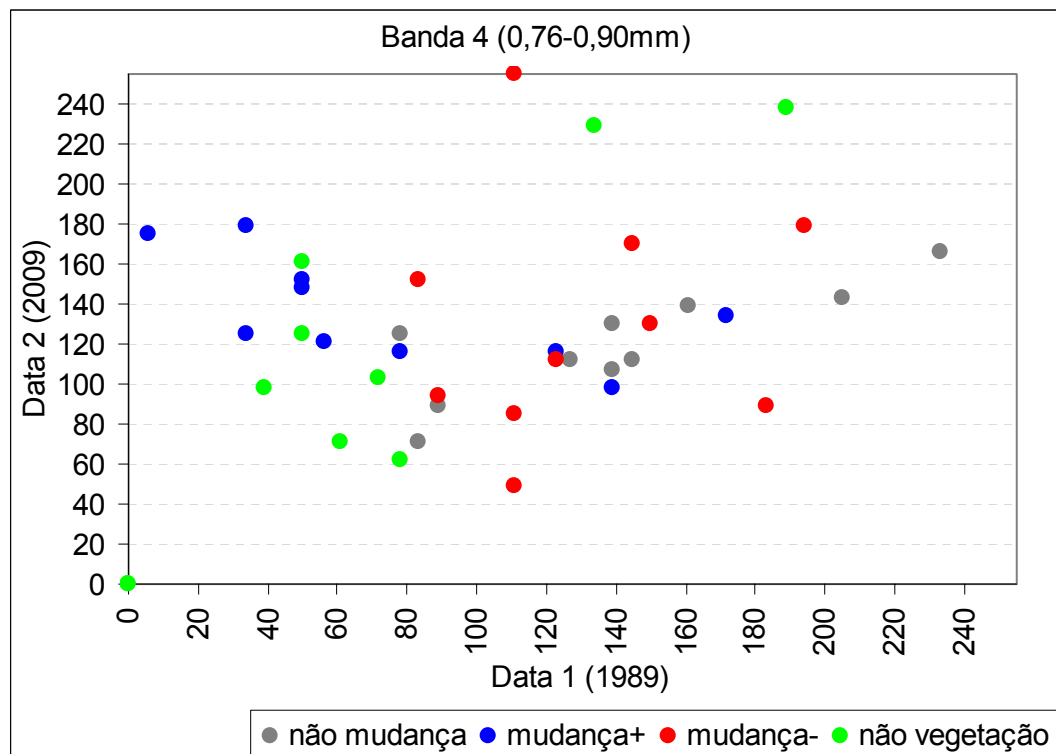


Figura 14 - Amostras das classes para a banda 4 nos anos avaliados (1989-2009).

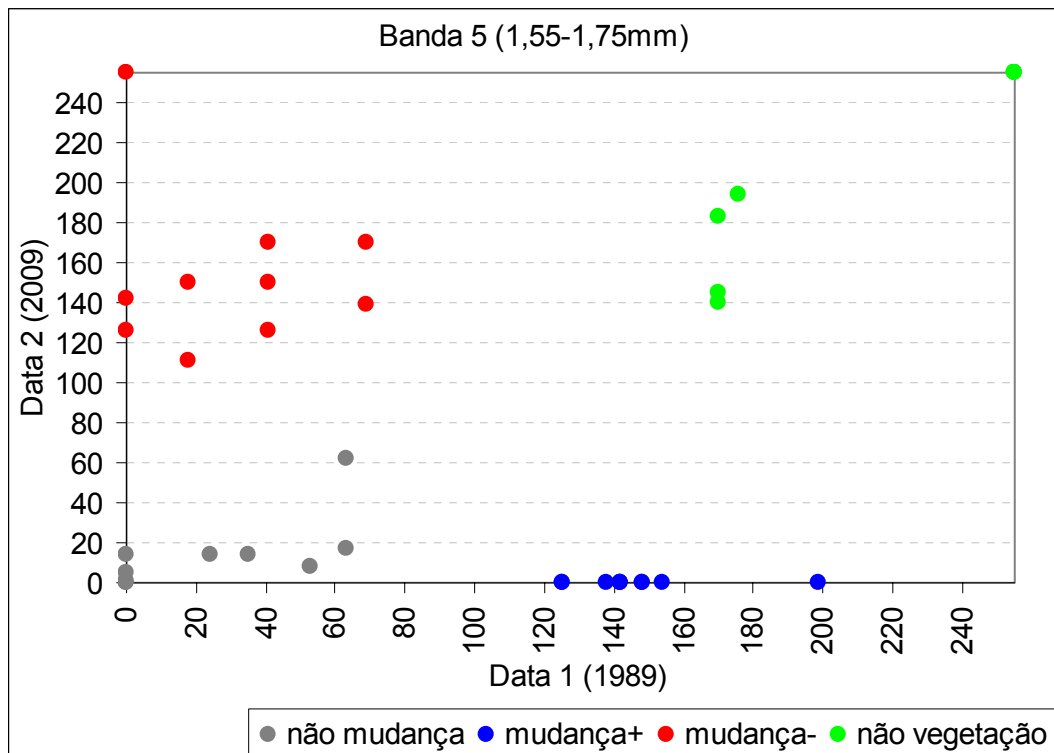


Figura 15 - Amostras das classes para a banda 5 nos anos avaliados (1989-2009).

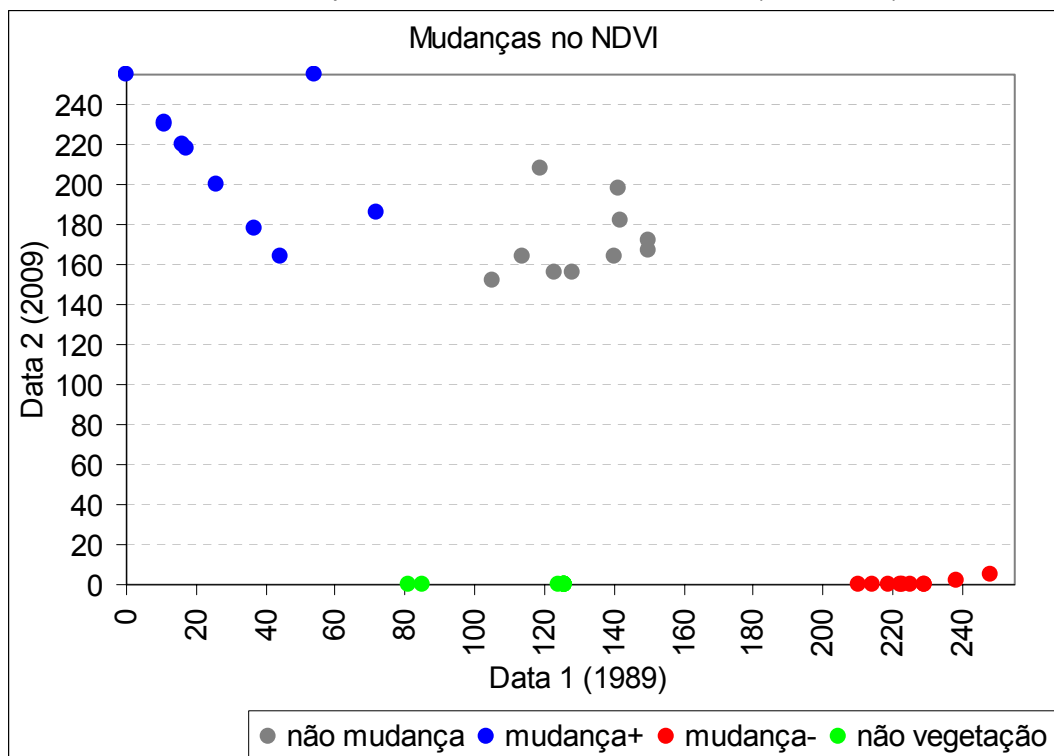


Figura 16 - Amostras das classes para o índice de vegetação NDVI nos anos avaliados (1989-2009).

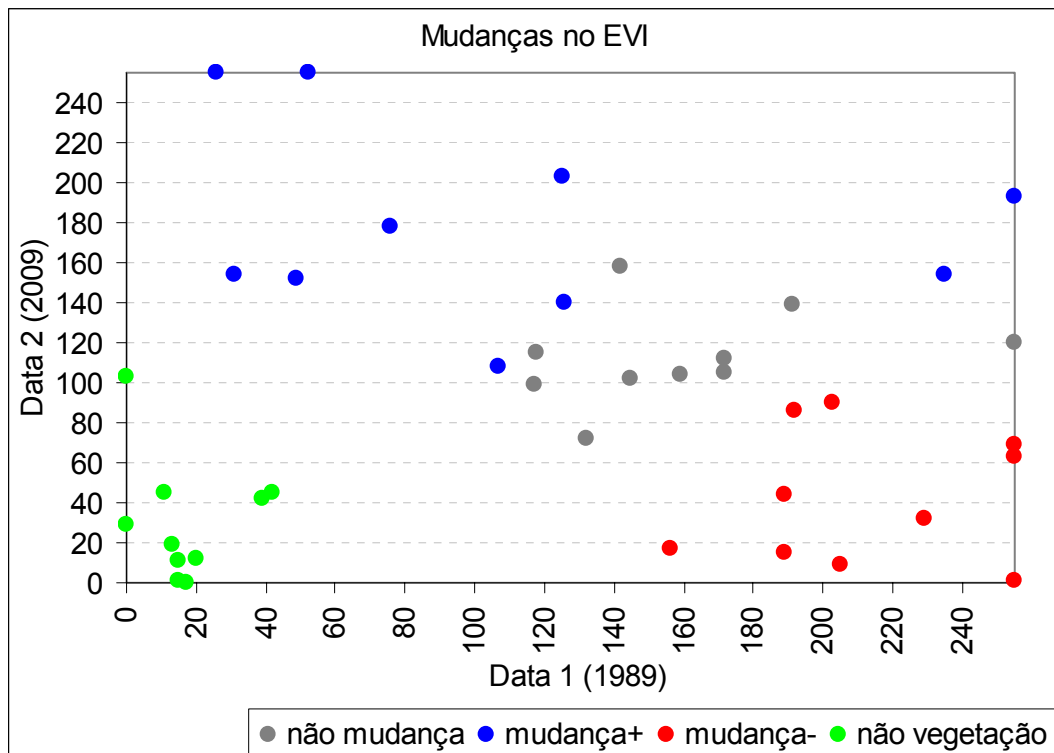


Figura 17 - Amostras das classes para o índice de vegetação EVI nos anos avaliados (1989-2009).

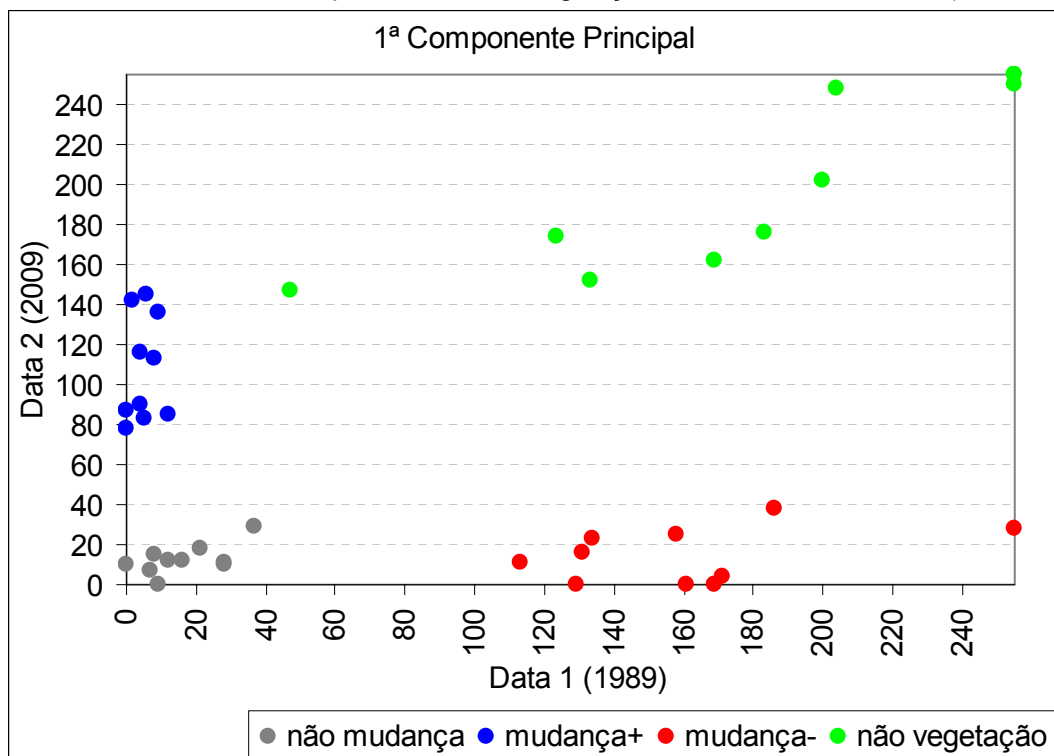


Figura 18 - Amostras das classes para a primeira componente principal nos anos avaliados (1989-2009).

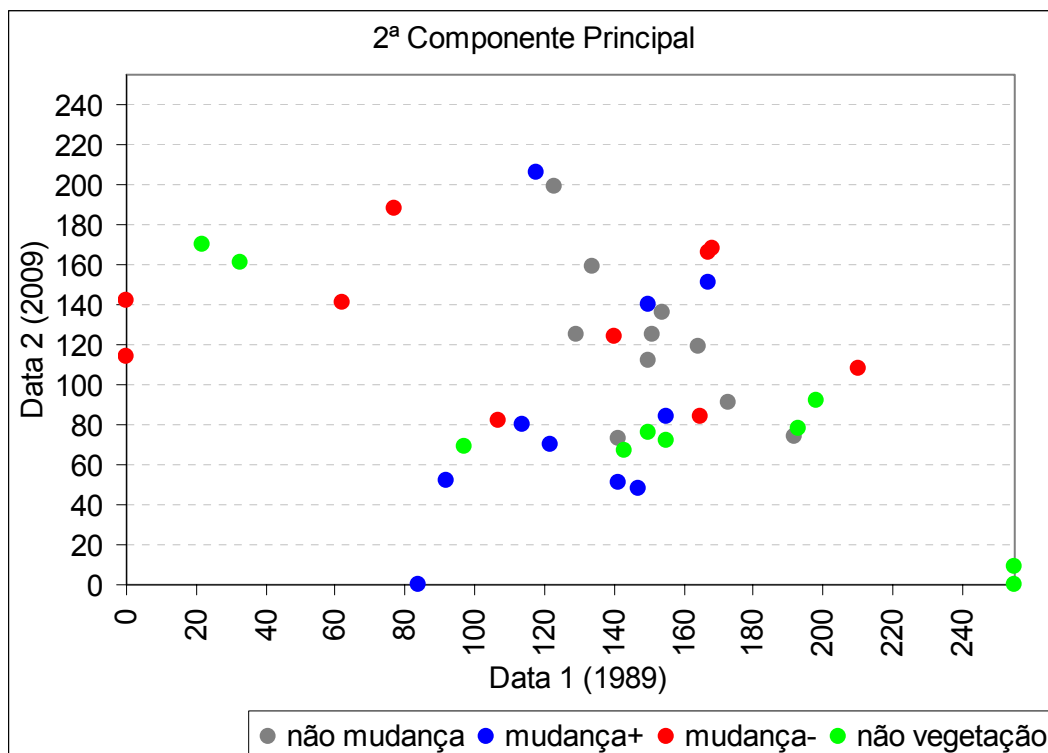


Figura 19 - Amostras das classes para a segunda componente principal nos anos avaliados (1989-2009).

Desta forma, o algoritmo apresentado no Anexo 3, realizou o ajuste da regressão no MATLAB para cada uma das situações citadas acima. Nas Figuras 20 à 26 estão apresentadas as amostras utilizadas efetivamente para o ajuste e o resultado do mesmo.

Para as amostras da banda 3 do sensor TM, a equação reduzida da reta foi: $y = 7,8542 + 0,6908x$ sendo que o $R^2 = 0,75$. A banda 4 do sensor TM apresentou o ajuste: $y = 47,0230 + 0,6470x$ com $R^2 = 0,48$. O ajuste para a banda 5 foi: $y = -9,3102 + 1,0241x$ com $R^2 = 0,97$. O ajuste para o índice de vegetação NDVI foi: $y = -170,4403 + 2,0643x$ com $R^2 = 0,17$. O ajuste para o índice de vegetação EVI foi: $y = 26,741 + 0,5062x$ com $R^2 = 0,65$. Para o ajuste da 1ª componente principal o resultado foi: $y = 6,4721 + 1,0128x$ com $R^2 = 0,93$ e para a 2ª componente principal o ajuste foi: $y = 196,95 - 0,6414x$ com $R^2 = 0,53$.

Foi realizada uma comparação mediante os coeficientes de determinação (R^2) encontrados para o ajuste de cada função. Pode-se perceber que os melhores ajustes com base nas amostras acima apresentadas, foram: banda 5 ($R^2 = 0,97$), 1ª componente principal ($R^2 = 0,93$), banda 3 ($R^2 = 0,75$) e EVI ($R^2 = 0,65$). O ajuste para o NDVI, a banda 4 e a 2ª componente principal apresentaram desempenhos de 0,17, 0,48 e 0,53, respectivamente.

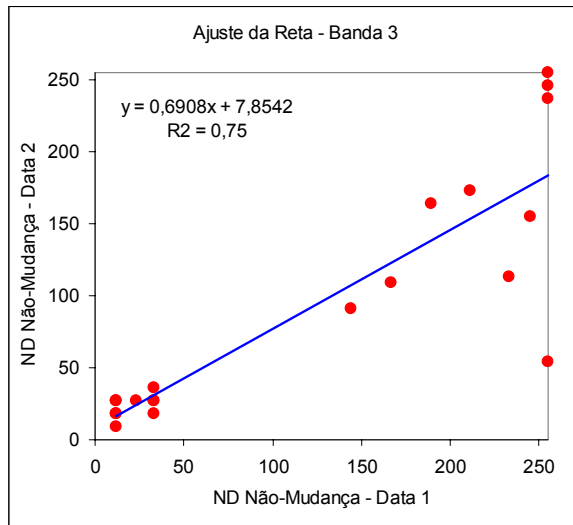


Figura 20 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras da banda 3.

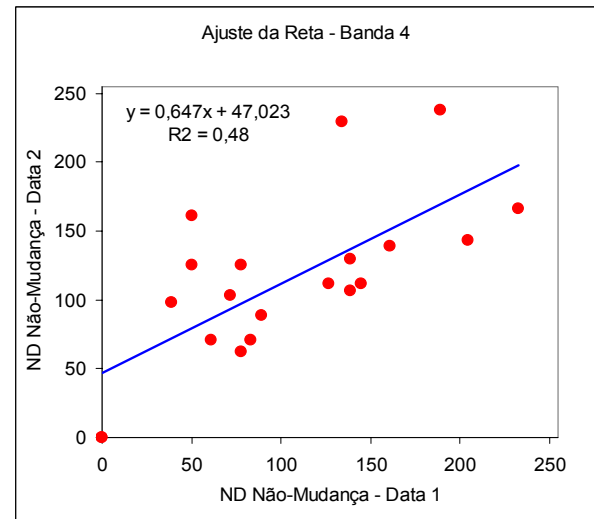


Figura 21 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras da banda 4.

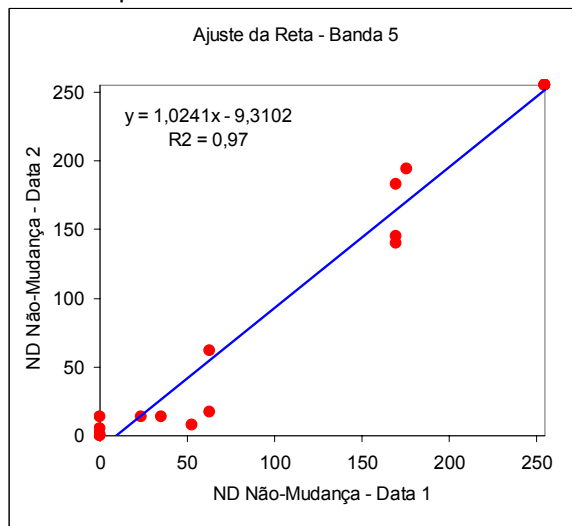


Figura 22 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras da banda 5.

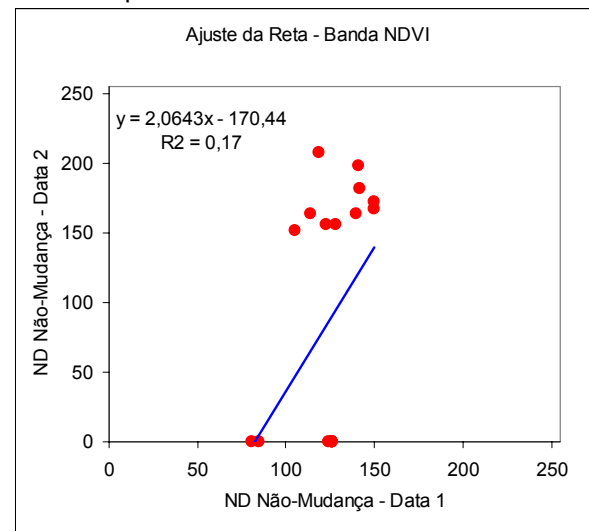


Figura 23 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras do índice de vegetação NDVI.

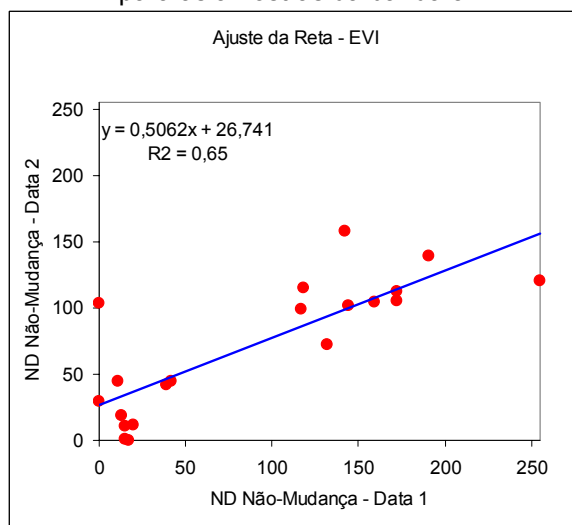


Figura 24 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras do índice de vegetação EVI.

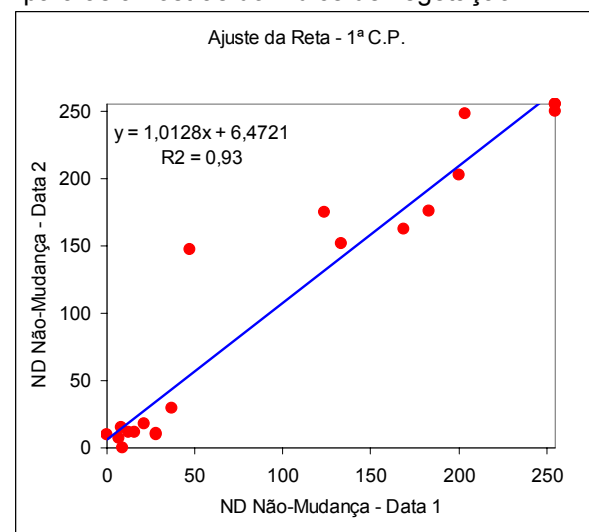


Figura 25 – Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras da 1ª Componente Principal.

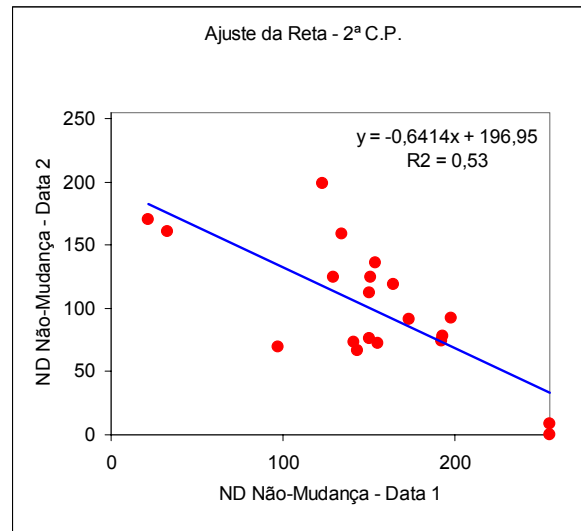


Figura 26 - Ajuste da equação reduzida da reta para as amostras da 2ª Componente Principal.

É importante destacar ainda que as equações citadas apresentam caráter de tendência das relações entre as datas avaliadas e portanto, não podem ser utilizadas de forma indiscriminada como a verdade para todas as detecções de mudanças. É importante realizar novos ajustes sempre que exista a necessidade de trabalhar com datas diferentes ou outras cenas.

4.4 APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE DETECÇÃO DE MUDANÇA NA COBERTURA FLORESTAL PARA PROJETOS DE REDD

Abaixo na Tabela 11 estão apresentados os resultados dos ajustes para a equação reduzida da reta e a equação geral da reta, para cada situação avaliada e que foi empregada para o cálculo das distâncias dos pontos a reta. A equação geral da reta ajustada para a banda 3 foi: $-20,7152x + 30,0000y - 235,8220 = 0$ com coeficiente de determinação $R^2 = 0,75$. A equação para a banda 4 foi: $-19,4094x + 30,0000y - 1.410,7000 = 0$ com $R^2 = 0,48$. A equação para a banda 5 foi: $-30,7238x + 30,0000y + 279,3050 = 0$ com $R^2 = 0,97$. Para o índice de vegetação NDVI a equação foi: $-61,9300x + 30,0000y + 5.113,2000 = 0$ com $R^2 = 0,17$. Para o índice de vegetação EVI a equação da reta foi: $-15,1846x + 30,0000y - 802,2449 = 0$ com $R^2 = 0,65$. Para a 1ª componente principal e a 2ª componente principal as equações foram respectivamente $-30,3852x + 30,0000y - 194,1626 = 0$ ($R^2=0,93$) e $19,2426x + 30,0000y - 5.908,4000 = 0$ ($R^2=0,53$). É importante destacar que as equações

aqui apresentadas foram ajustadas para a situação aqui avaliada e, portanto, não devem ser utilizadas em outras situações. Para o uso em outros casos, devem-se coletar as amostras de não-mudanças e confeccionar os arquivos em “txt” para que a rotina realize um novo ajuste e, dependendo de seu desempenho, apliquem-se as demais fases da detecção de mudanças.

A partir do cálculo das distâncias de cada posição da imagem (considerando as duas datas) até a reta geral ajustada, confeccionaram-se os histogramas de distâncias para cada situação. A confecção destes histogramas também se encontra implementada no MATLAB e é apresentada no Anexo 3 deste sendo o resultado da etapa cujo comentário é “%Calcular a distância em relação a reta ajustada acima”.

Tabela 11 – Resultado dos ajustes das equações reduzida e geral da reta para as situações avaliadas.

Avaliado	Ajuste da Equação Reduzida da Reta de Não-Mudança	Equação Geral da Reta para cálculo da Distância dos Pontos a Reta	R ²
Banda 3	$7,8542 + 0,6908x$	$-20,7152x + 30,0000y - 235,8220 = 0$	0,75
Banda 4	$47,0230 + 0,6470x$	$-19,4094x + 30,0000y - 1.410,7000 = 0$	0,48
Banda 5	$-9,3102 + 1,0241x$	$-30,7238x + 30,0000y + 279,3050 = 0$	0,97
NDVI	$-170,4403 + 2,0643x$	$-61,9300x + 30,0000y + 5.113,2000 = 0$	0,17
EVI	$26,741 + 0,5062x$	$-15,1846x + 30,0000y - 802,2449 = 0$	0,65
1ª Componente Principal	$6,4721 + 1,0128x$	$-30,3852x + 30,0000y - 194,1626 = 0$	0,93
2ª Componente Principal	$196,95 - 0,6414x$	$19,2426x + 30,0000y - 5.908,4000 = 0$	0,53

As Figuras 27 a 33, representam os histogramas resultantes do cálculo das distâncias. Estes histogramas representam as frequências dos pixels nas diversas distâncias calculadas, representando assim a distribuição estatística das distâncias em valores absolutos.

Conforme se pode observar nos histogramas, os valores das distâncias das posições dos *pixels* em relação a reta de não mudança e não vegetação, apresentam tendências da distribuição normal. Assim, a distribuição pode ser explicada pela média e pelo desvio padrão. Esta observação também foi constatada por NUNES (2007) em seu trabalho de detecção de mudanças utilizando-se da subtração de bandas com o uso do índice de vegetação NDVI. Da mesma maneira, aplicando a técnica de subtração de bandas de imagens de satélite, SOUSA *et al.* (2007) também mencionam a distribuição normal como sendo o histograma resultante deste processamento. Também para BAPTISTA *et al.* (2005), em avaliação de períodos de chuva utilizando imagens do satélite ASTER, para a banda

1 e 2, afirmam que o histograma obtido apresenta uma distribuição normal da frequência e apenas uma moda. Notaram também que quase todos os *pixels* oscilaram entorno da média. Ainda JUNIOR *et al.* (2007), ao avaliar as mudanças temporais de 25 cenas do sensor MODIS pelo período de 2 anos (2005 e 2006), constataram que a partir das estatísticas dos *pixels* das imagens geradas foi possível observar um padrão de distribuição e frequência destes ao longo do tempo, afirmando que esta distribuição é normal e cíclica.

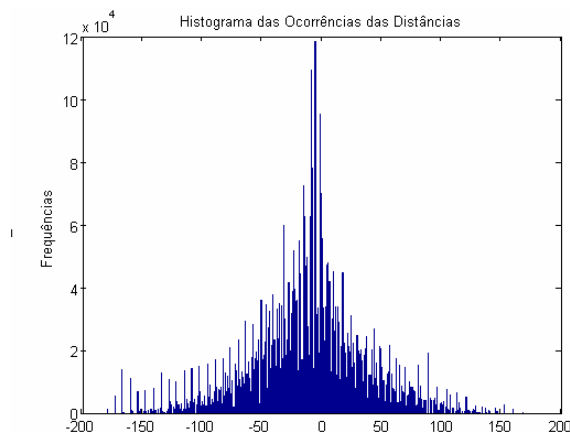


Figura 27 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para a Banda 3.

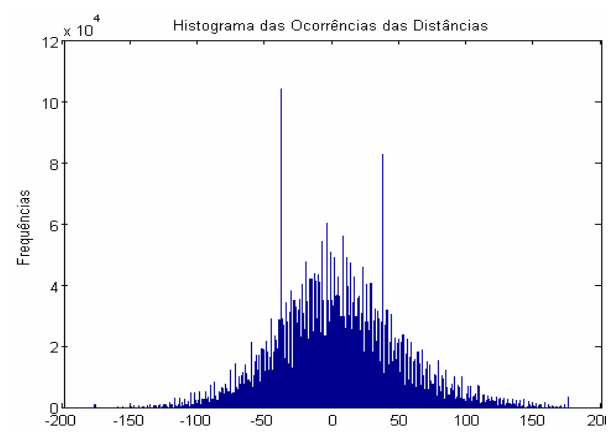


Figura 28 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para a Banda 4.

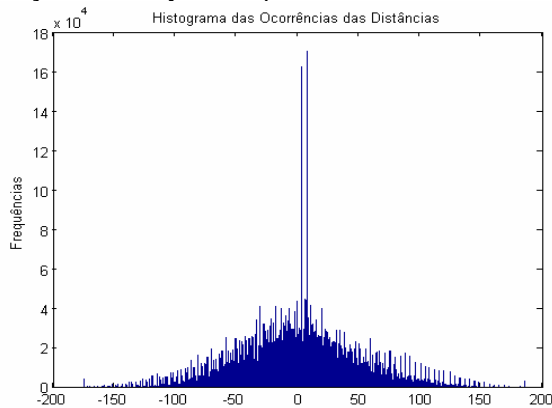


Figura 29 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para a Banda 5.

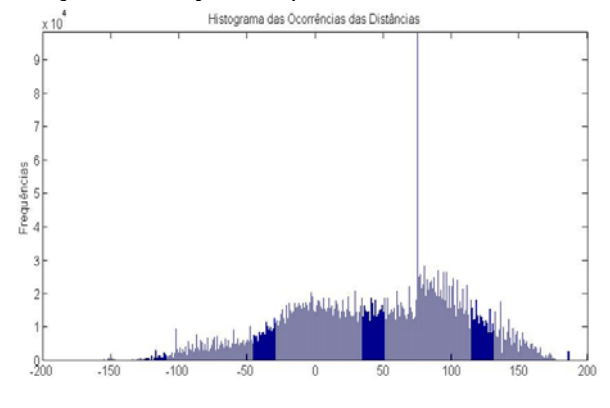


Figura 30 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para o NDVI.

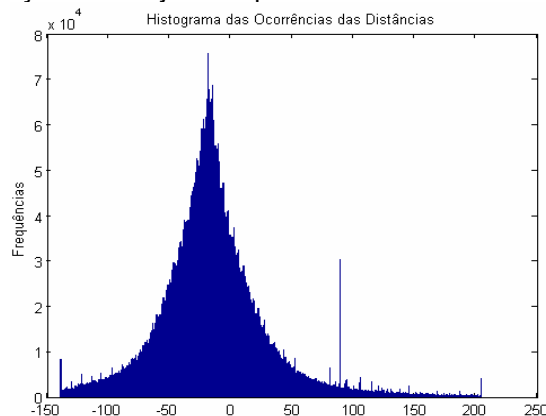


Figura 31 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para o EVI.

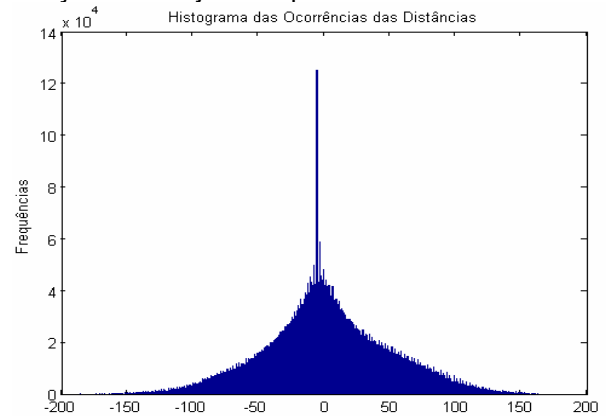


Figura 32 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para a 1ª Componente

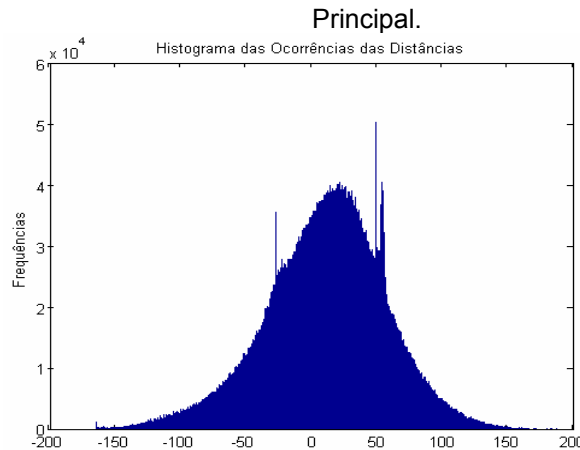


Figura 33 – Histograma das distâncias em relação à reta ajustada para a 2ª Componente Principal.

Na Tabela 12 estão apresentadas as médias e os desvios padrões calculados para cada um dos histogramas de frequências computados. Observa-se que as frequências observadas para a banda 3 apresentou média (μ) = 15,20 e desvio padrão (σ) = 51,92. A avaliação na banda 4 apresentou μ = 3,12 e desvio padrão (σ) = 48,30. A avaliação na banda 5 apresentou μ = 0,29 e desvio padrão (σ) = 53,80. As frequências do histograma do índice de vegetação NDVI apresentaram μ = 49,98 e desvio padrão (σ) = 57,87. Para o índice de vegetação EVI os valores foram μ = -13,84 e desvio padrão (σ) = 48,33. A 1ª componente principal apresentou μ = 0,96 e desvio padrão (σ) = 50,92 e a 2ª componente principal teve μ = 10,27 e desvio padrão (σ) = 47,57.

Em função da avaliação dos limiares para as classes conforme a distribuição normal, chegou-se aos resultados apresentados na Figura 34.

Para a definição dos limiares de cada situação avaliada, observou-se o resultado da interpretação visual e do desempenho da aplicação das classes citadas na Figura 34 a seguir.

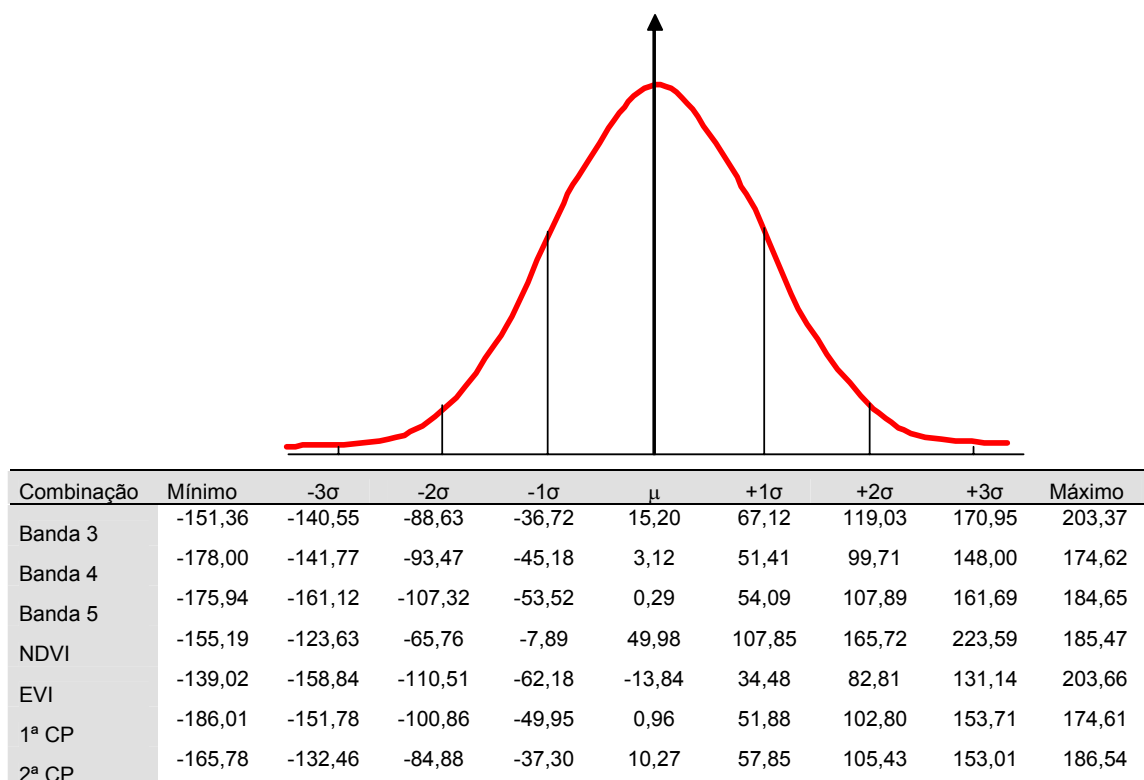


Figura 34 – Representação dos limiares encontrados para cada uma das distribuições avaliadas.

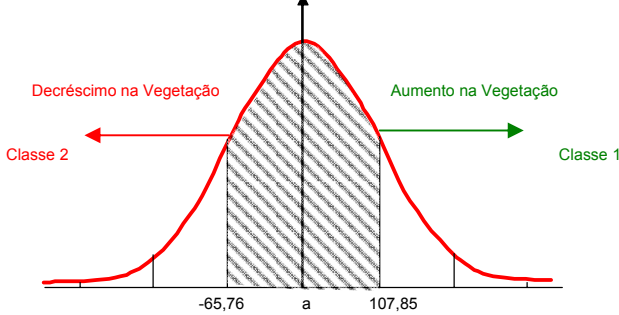
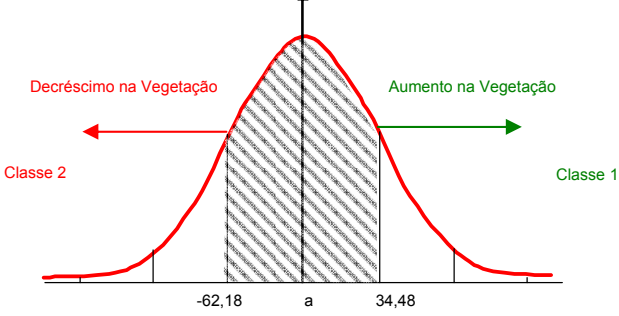
Tabela 12 – Características dos limiares testados e legenda para cada situação avaliada.

Combinação	Distribuição Normal e Limiares de Mudanças
Banda 3	<p>Legenda de Mudanças:</p> <p>Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil¹ e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $< -1\sigma$.</p> <p>Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $> +1\sigma$.</p> <p style="text-align: right;">Continua...</p>

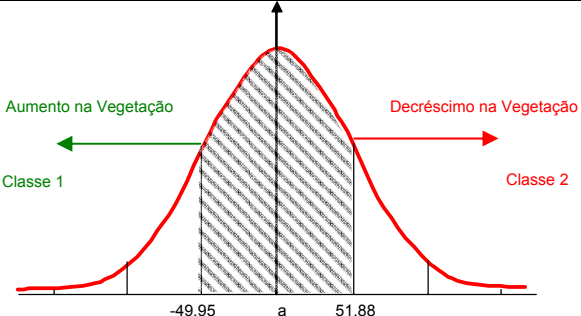
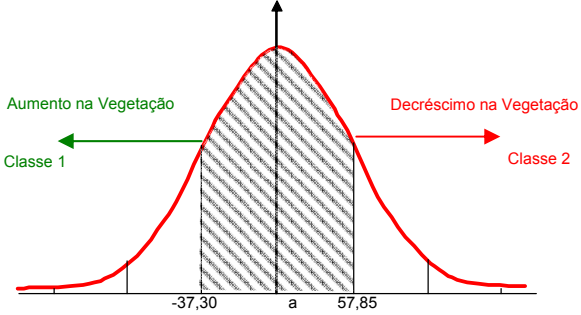
¹ Resolução nº 02 de 2005 – CIMGC - Art. 3º - Para fins do requisito de participação nas atividades de projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, conforme a seção F, parágrafo 8, do Anexo II definido no artigo 2 acima, define-se: a) valor mínimo de cobertura de copa das árvores: 30 por cento; b) valor mínimo de área de terra: 1 hectare, e c) valor mínimo de altura de árvore: 5 metros.

Combinação	Distribuição Normal e Limiares de Mudanças
Banda 4	<div data-bbox="587 309 1209 622"> </div> <p data-bbox="403 633 675 663">Legenda de Mudanças:</p> <p data-bbox="403 663 1377 824">Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $>+1\sigma$.</p> <p data-bbox="403 853 1377 1014">Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $<-1\sigma$.</p>
Banda 5	<div data-bbox="587 1059 1209 1373"> </div> <p data-bbox="403 1406 675 1435">Legenda de Mudanças:</p> <p data-bbox="403 1435 1377 1597">Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $<-1\sigma$.</p> <p data-bbox="403 1626 1377 1787">Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $>+1\sigma$.</p>

Continua...

Combinação	Distribuição Normal e Limiares de Mudanças
NDVI	 <p>Legenda de Mudanças:</p> <p>Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $>+1\sigma$.</p> <p>Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $<-1\sigma$.</p>
EVI	 <p>Legenda de Mudanças:</p> <p>Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $>+1\sigma$.</p> <p>Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $<-1\sigma$.</p>

Continua...

Combinação	Distribuição Normal e Limiares de Mudanças
1ª CP	 <p>Legenda de Mudanças:</p> <p>Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $< -1\sigma$.</p> <p>Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $> +1\sigma$.</p>
2ª CP	 <p>Legenda de Mudanças:</p> <p>Classe 1 - Aumento na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 não existiam formações vegetais de porte florestal, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 10 de agosto de 2005 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $< -1\sigma$.</p> <p>Classe 2 – Decréscimo na Vegetação: Nesta classe estão enquadradas as áreas onde no ano de 1989 existiam formações vegetais de porte florestal com o comportamento espectral observado, conforme definição de floresta conforme Resolução nº 2 de 2005 da CIMGC, que define os critérios de floresta para o Brasil e que na avaliação de 2009 passaram a não apresentar tal comportamento espectral. Desta forma, neste trabalho a separação proposta para esta classe foi o posicionamento $> +1\sigma$.</p>

É importante destacar que no Anexo 3 está apresentada a rotina no MATLAB que calcula automaticamente estes limiares para cada situação avaliada, especificamente no comentário do código: “Definição das classes para classificar a imagem das distancias com base no desvio padrão calculado para cada análise”.

Nas Figuras 35 a 41 estão apresentadas as imagens utilizadas para o processamento de cálculo das distâncias (ano 1989 “a” e ano 2009 “b”). Ainda, o resultado do cálculo das distâncias, aqui chamado de bruto (c) tendo em vista que não sofreu nenhum tipo de alteração e assim, representa todos os polígonos detectados pelos cálculos. E ainda, representa a imagem resultante da aplicação do filtro de média sobre a imagem das distâncias brutas, com o objetivo de reduzir áreas e os resultados da aplicação dos limiares citados acima.

Com a observação das Figuras apresentadas, pode-se perceber que em todas as situações alguns dos fragmentos pequenos (1-4 pixels) deixaram de fazer parte da imagem de distância filtrada. A necessidade de apresentação de um produto final homogêneo e livre de objetos indesejados ao usuário final, também foi o argumento de GONÇALVES *et al.* (2006) quando da justificativa do emprego de um filtro de média com janela 3x3 de tamanho.

Pode-se perceber que ao empregar a banda 3 (0,63 a 0,69 μm) houve uma detecção equivocada nas mudanças da cobertura florestal, apontando alterações dentro do rio Chopim. Este rio possui uma barragem de propriedade da empresa Foz do Chopim Energética Ltda., que se encontra em operação desde outubro de 2001. GARCIA (1982) complementa que a quantidade de sedimentos carreados para as represas hidroelétricas é um fenômeno que pode ser estudado pelo uso de sensoriamento remoto, tendo em vista a magnitude de suas interferências nas respostas espectrais. NOVO (2001) apresenta uma explicação para estas interferências, afirmando que o aumento da concentração de sólidos em suspensão ocasiona um aumento da reflectância em direção aos comprimentos de onda mais longos. PEREIRA FILHO (1991) cita que a própria granulometria dos sólidos em suspensão pode afetar a reflexão do corpo de água.

A banda 3 é muito utilizada para a avaliação da qualidade da água, conforme recomendam DEKKER, MALTHUS e SEYHAN (1991) em seu trabalho, no qual sugerem que em ambientes aquáticos devem-se utilizar faixas espectrais entre 0,60 e 0,72 μm para uma boa estimativa da quantidade de detritos orgânicos, algas e matéria dissolvida. Assim, deve-se atentar para os resultados gerados pela rotina com o uso de bandas espectrais como a 3, em ambientes cujos usos e ocupação do solo não sejam conhecidos, principalmente, em relação aos recursos hídricos. Ainda cabe destacar que a primeira componente principal e o índice de vegetação EVI, por apresentarem influência da banda 3, também tiveram este comportamento.

Desta maneira, apesar do bom desempenho que a banda 3, 1ª C.P. e EVI possam vir a apresentar, quando da escolha destas para aplicações em projetos de REDD deve-se ter cautela para uma possibilidade de indicação de mudanças na cobertura florestal (acréscimo ou decréscimo). Portanto, seria interessante a criação de uma máscara para os recursos hídricos quando as mesmas forem escolhidas para o monitoramento dos projetos de REDD.

Como as alterações sofridas pelos rios, face às outras ações antrópicas (deposição de sedimentos, presença de algas, entre outros) também são mudanças e, a propensão destas na banda 3, 1ª C.P. e EVI é de serem destacadas quando da aplicação de técnicas de detecções de mudanças, a máscara sugerida faria com que a indicação destas áreas como mudanças na cobertura florestal fosse evitada em projetos de REDD.

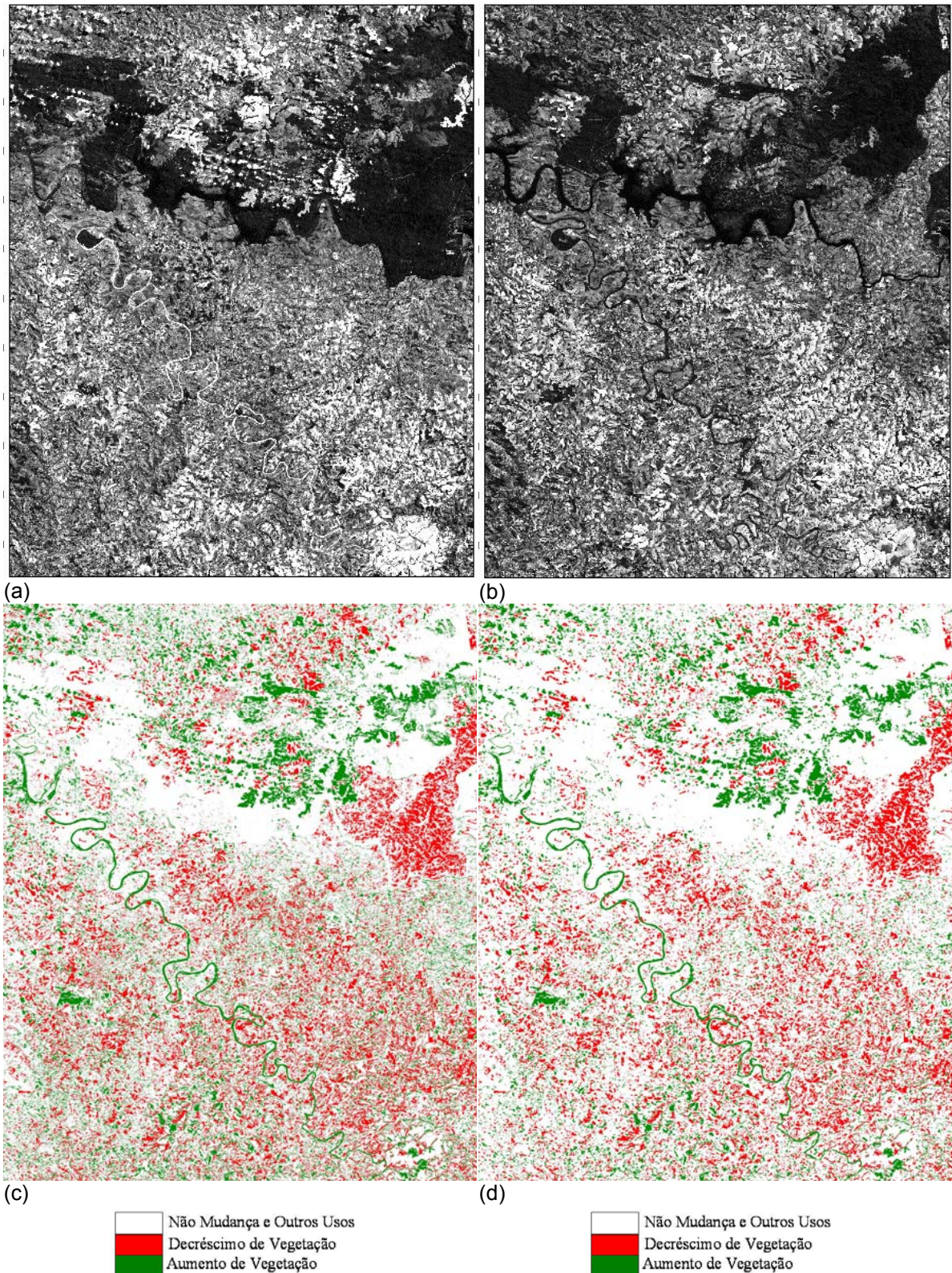


Figura 35 – Representação das imagens da banda 3 - (a) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 1989; (b) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

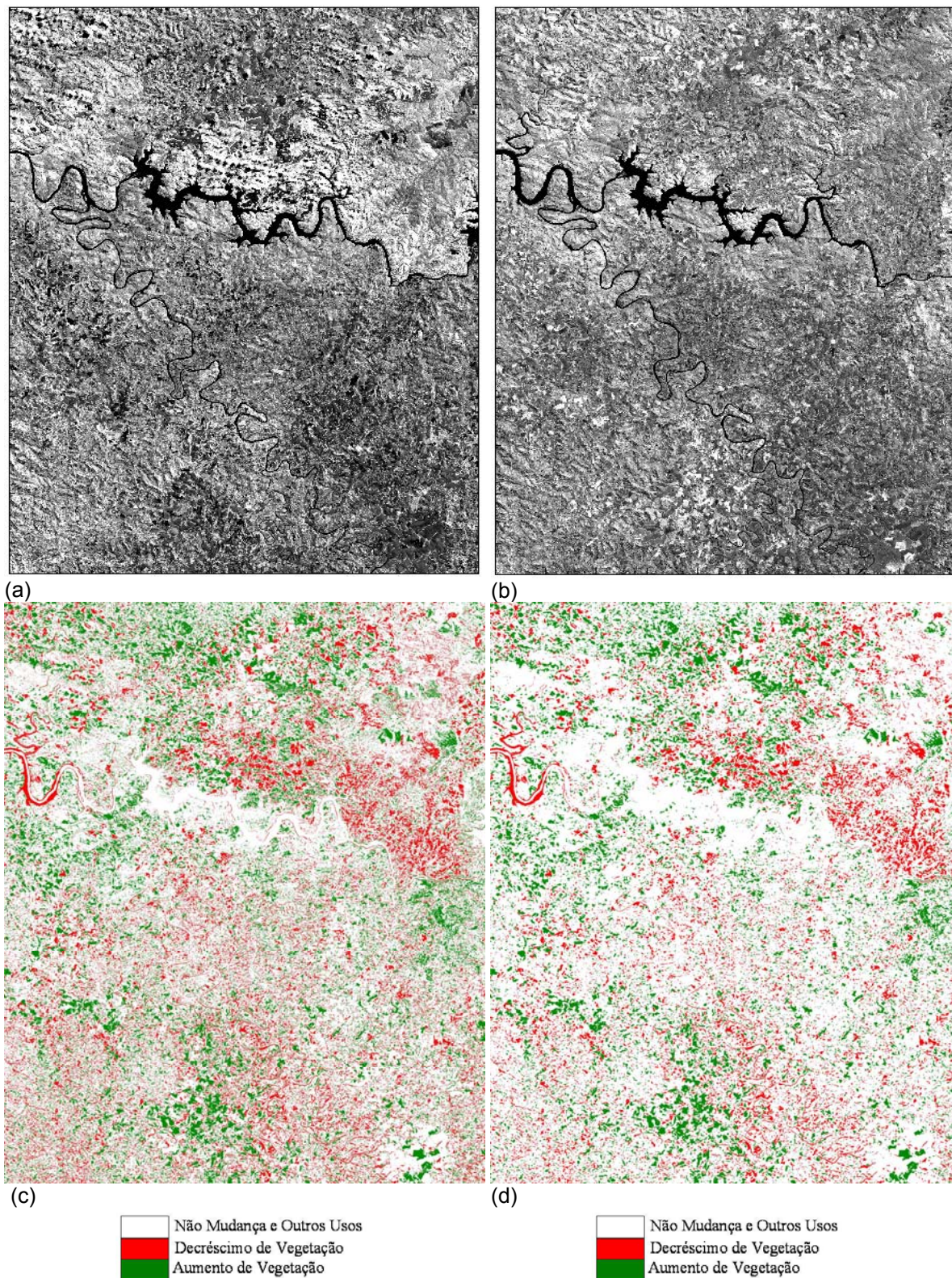


Figura 36 – Representação das imagens da banda 4 - (a) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 1989; (b) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

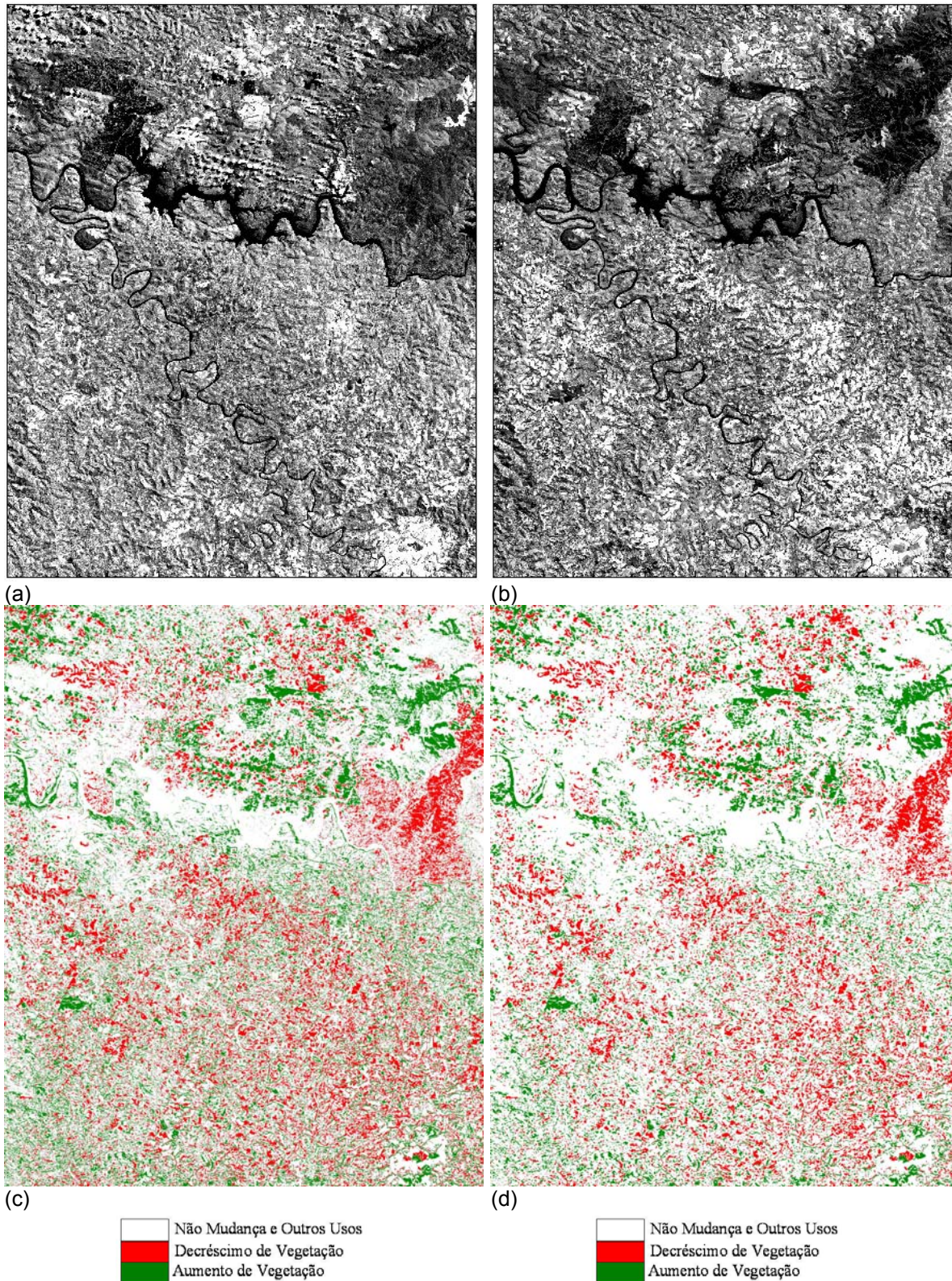


Figura 37 – Representação das imagens da banda 5 - (a) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 1989; (b) Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

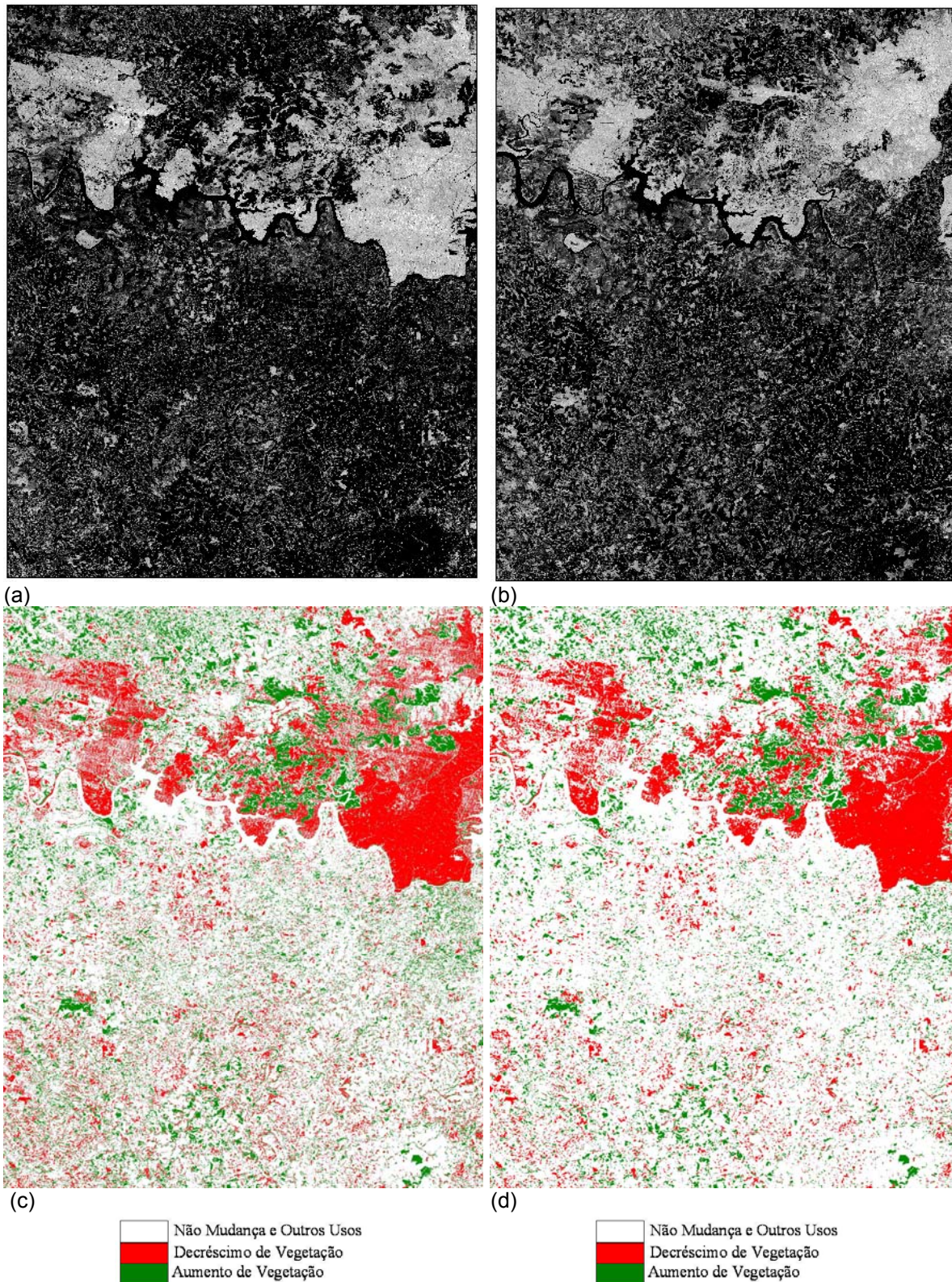


Figura 38 – Representação das imagens do índice de vegetação NDVI - (a) Imagem NDVI resultante das bandas do sensor Landsat 5, TM do ano de 1989; (b) Imagem NDVI resultante das bandas do sensor Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

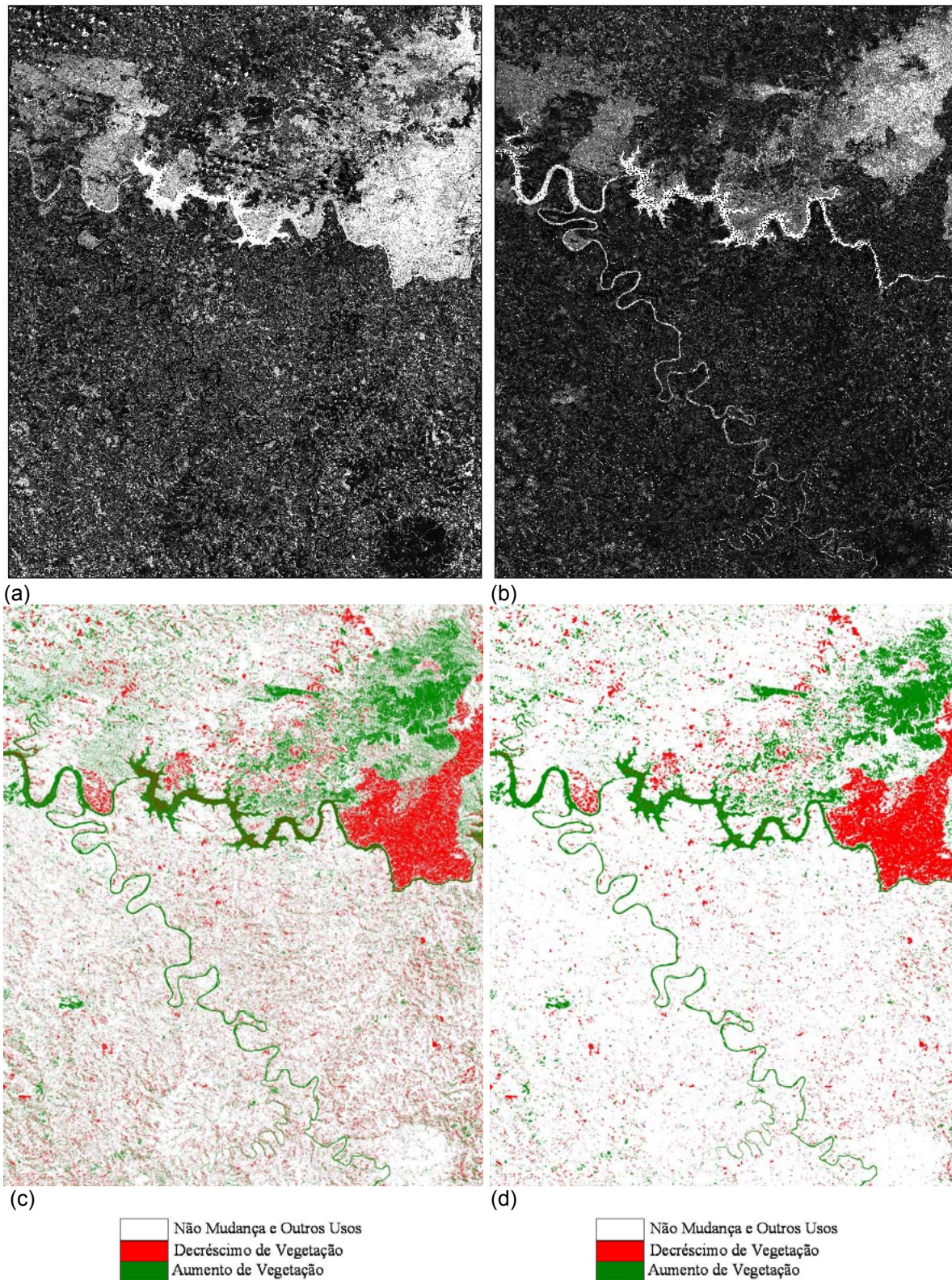


Figura 39 – Representação das imagens do índice de vegetação EVI - (a) Imagem EVI resultante das bandas do sensor Landsat 5, TM do ano de 1989; (b) Imagem EVI resultante das bandas do sensor Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

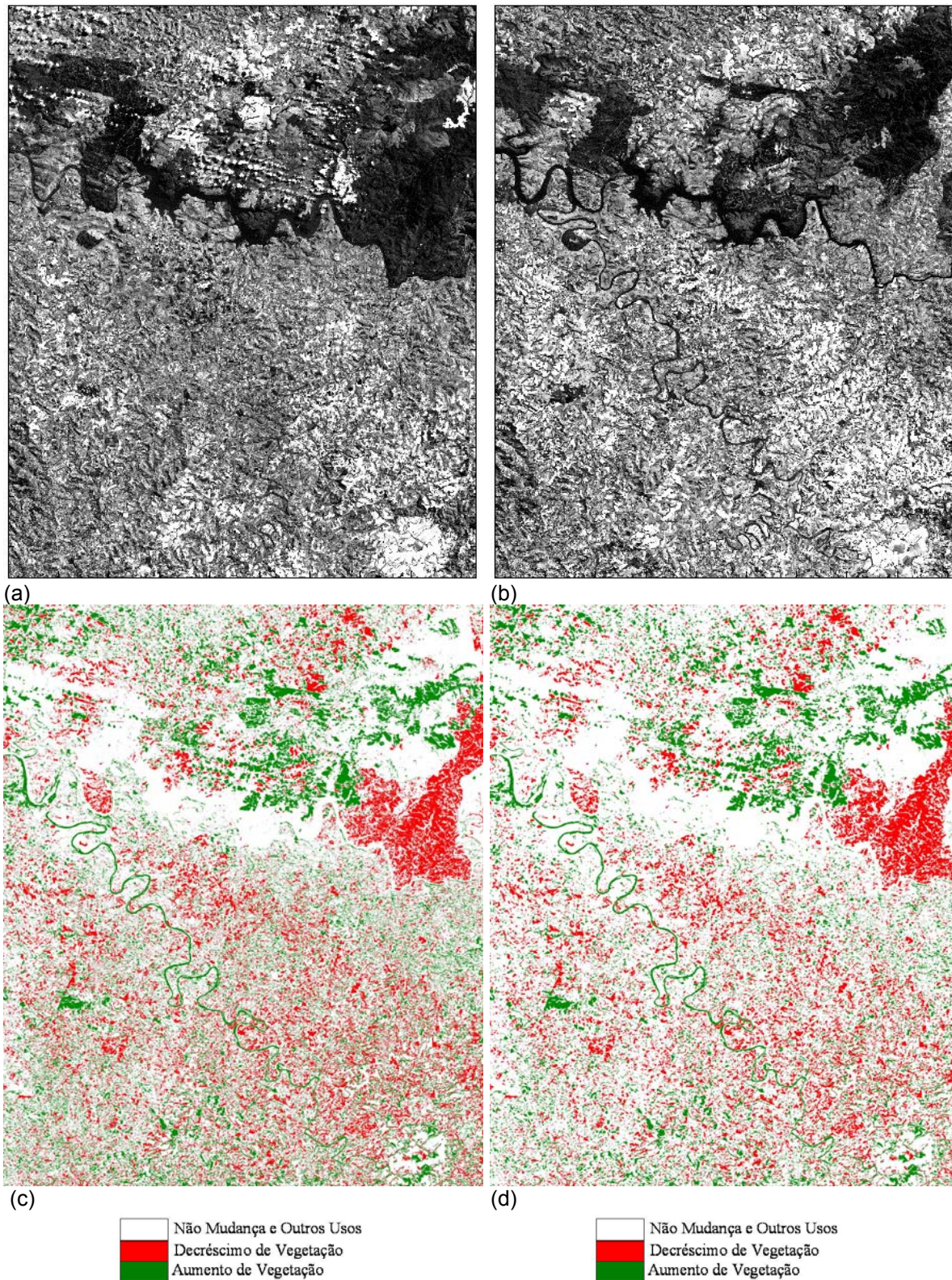


Figura 40 – Representação das 1ª componente principal (CP) - (a) Imagem da 1ª CP resultante da imagem do Landsat 5, sensor TM do ano de 1989; (b) Imagem da 1ª CP resultante da imagem do Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

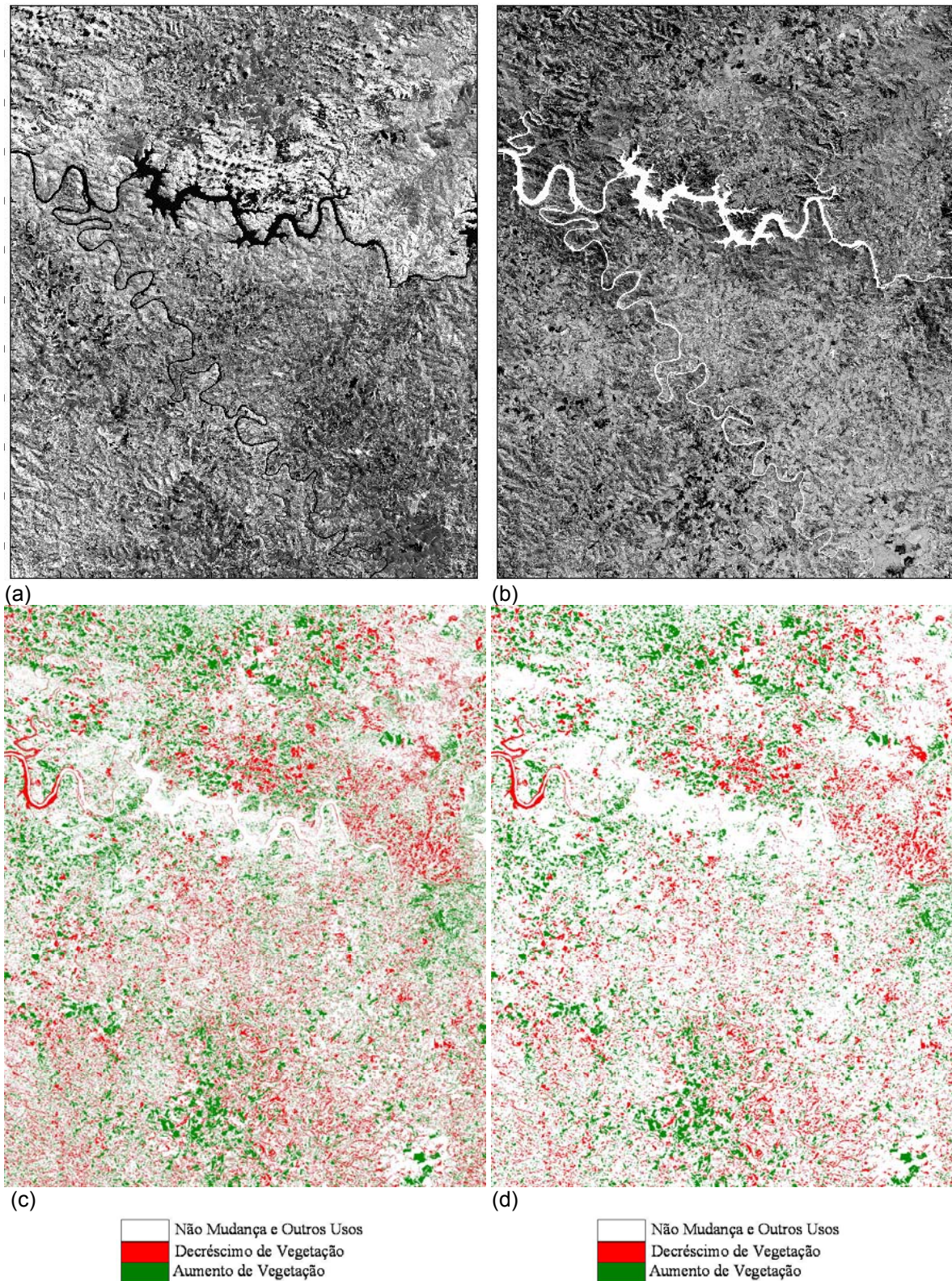


Figura 41 – Representação das imagens da 2ª componente principal (CP) - (a) Imagem da 2ª CP resultante da imagem Landsat 5, sensor TM do ano de 1989; (b) Imagem da 2ª CP resultante da imagem Landsat 5, sensor TM do ano de 2009; (c) Imagem bruta resultante da classificação com base nos desvios padrões; (d) Imagem filtrada resultante da classificação com base nos desvios padrões.

4.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM ÁREAS DA DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Para a avaliação das imagens temáticas a partir das imagens filtradas, assumiu-se o mapa citado no tópico 4.1 como a verdade de campo ou parâmetro de referência.

O uso do solo para cada unidade amostral tomado como verdadeiro está apresentado na Tabela 13 abaixo, bem como a posição das mesmas apresentadas por suas coordenadas UTM (X e Y, em metros).

Tabela 13 - Ponto central das parcelas circulares de 150 hectares (Raio = 690,99 m).

Amostra Número	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Áreas da Detecção Testemunha (hectares)		
			Aumento nas Áreas Florestais	Decréscimo nas Áreas Florestais	Outros Usos
1	333.368	7.165.824	0,00	148,68	1,32
2	336.286	7.175.510	0,44	133,15	16,41
3	335.130	7.173.013	1,37	119,83	28,80
4	329.907	7.165.011	0,00	146,28	3,72
5	315.119	7.184.463	125,37	12,57	12,06
6	328.164	7.162.836	0,59	99,40	50,01
7	323.157	7.166.184	14,29	51,34	84,37
8	294.042	7.170.366	6,79	102,57	40,64
9	335.010	7.166.801	3,13	104,20	42,67
10	337.684	7.179.987	0,00	141,47	8,53
11	323.767	7.193.304	0,62	68,13	81,25
12	331.683	7.169.445	0,00	125,44	24,56
13	329.000	7.168.818	0,00	143,20	6,80
14	331.309	7.171.701	0,00	108,58	41,42
15	332.431	7.161.549	13,98	85,99	50,03
16	334.519	7.177.874	108,22	0,00	41,78
17	328.616	7.186.815	121,04	0,00	28,96
18	333.555	7.180.165	51,01	0,06	98,93
19	318.003	7.172.167	114,85	0,03	35,12
20	335.702	7.169.389	18,69	33,55	97,76
21	323.801	7.183.747	55,50	7,76	86,74
22	329.500	7.180.061	66,72	2,24	81,04
23	331.375	7.179.663	64,35	0,00	85,65
24	315.666	7.176.576	90,24	20,49	39,27
25	335.248	7.192.148	80,59	1,10	68,32
26	283.672	7.173.121	91,08	1,02	57,90
27	331.858	7.185.206	96,25	0,00	53,75
28	292.923	7.188.759	46,17	0,00	103,83
29	303.437	7.176.731	14,31	110,51	25,19
30	285.964	7.184.428	58,59	0,22	91,19

Os resultados tabulados e sumarizados, dos erros e acertos da aplicação dos algoritmos estão encontrados na matriz de confusão apresentada na Tabela 14.

Os melhores desempenhos em relação ao coeficiente Kappa para as detecções de mudanças foram obtidos utilizando-se a 1ª componente principal, banda 3 e EVI. Os piores desempenhos em relação ao coeficiente Kappa para as detecções de mudanças foram obtidos empregando-se a 2ª componente principal e a banda 4. As situações de uso do NDVI e banda 5 apresentaram desempenhos intermediários.

Avaliando especificamente cada situação, pode-se dizer que a banda 3 apresentou um acerto global de 76,5% e coeficiente Kappa = 0,62. Conforme a classificação proposta por LANDIS e KOCH (1977)² *apud* MOREIRA (2001), o desempenho deste valor de coeficiente Kappa é classificado como “bom”. Entretanto quando avaliamos a exatidão do ponto de vista do usuário para as classes avaliadas, percebemos que existe uma maior confusão entre as classes de aumento e decréscimo da cobertura florestal (69,7% e 60,7%, respectivamente). Do ponto de vista do produtor a confusão entre as classes de aumento e decréscimo da cobertura florestal foi de 89,1% e 92,3%, respectivamente.

A banda 4 apresentou acerto global de 58,3% e coeficiente Kappa = 0,30. Conforme a classificação, pode-se dizer que o desempenho desta banda segundo este último coeficiente foi “razoável”. Percebe-se que este mau desempenho foi fortemente influenciado pela confusão que as classes de aumento (586 hectares) e decréscimo (1.007 hectares) apresentaram em relação a classe de não mudança.

A banda 5 apresentou acerto global de 70,2% e coeficiente Kappa = 0,52, classificado como “bom” pela classificação seguida por este trabalho. O desempenho desta situação foi afetado principalmente pela confusão entre a classe de decréscimo e a classe de não mudança (733 hectares). Ainda assim, apresentou melhor desempenho do que a banda 4.

O índice de vegetação NDVI apresentou acerto global de 74,1% e coeficiente Kappa = 0,60, classificado como “bom”. A principal influência negativa neste desempenho foi a classe de não mudança que apresentou confusão com a classe de aumento (820 hectares) e decréscimo (2.349 hectares) de vegetação. Entretanto, deve-se destacar que em uma avaliação isolada da classe decréscimo,

² Landis, J.R., Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33 , p.159-174, 1977.

esta situação em termos de exatidão do usuário e do produtor, foi muito boa. A classe de aumento, quando comparada isoladamente, apresentou um desempenho inferior ao do decréscimo, porém, melhor que a classe de não mudanças.

O índice de vegetação EVI apresentou desempenho semelhante ao NDVI em termos de acerto global de 74,7% e coeficiente Kappa = 0,61, classificado como “muito bom”. Pode-se dizer também que os erros foram mais homogêneos entre as classes, com leve influencia negativa para a classe de não mudanças confundindo com as classes de aumento e decréscimo de vegetação.

A primeira componente principal apresentou 80,9% de acerto global e coeficiente Kappa = 0,70, classificado como “muito bom” pela classificação citada. Pode-se perceber que erros entre as classes ficaram melhores distribuídos e as exatidões do ponto de vista do usuário e do produtor não variaram entre 74,9% e 90,5%.

A segunda componente principal apresentou acerto global igual a 54,6% e coeficiente Kappa = 0,23, classificado como “razoável”. Entretanto, as confusões entre as classes foram grandes. Observa-se que a classe aumento apresentou mais áreas classificadas erroneamente como não mudanças (684 hectares) do que áreas acertadas como aumento real (264 hectares). Da mesma forma para a classe de decréscimo com 443 hectares de áreas corretamente classificadas e 1.055 hectares classificadas erroneamente na classe de não mudanças.

É importante destacar que os desempenhos aqui apresentados contabilizaram os erros decorrentes da classificação do Rio Chopim como mudanças. Assim, caso estes erros fossem subtraídos da avaliação, por exemplo, com a aplicação de uma máscara para os corpos hídricos, seria possível a obtenção para a situação avaliada, de resultados ainda superiores aos aqui apresentados.

Tabela 14 – Matriz de confusão, acerto global, exatidão do usuário, exatidão do produtor e coeficiente Kappa.

Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
Banda 3	Aumento	675	0	293	968	69,7%
	Decréscimo	0	932	603	1.535	60,7%
	Não Mudança	83	78	1.836	1.997	91,9%
	Soma Parcial	758	1.010	2.732	4.500	
	Exatidão Produtor	89,1%	92,3%	67,2%		
Q = 0,765 ou 76,5% e Kappa = 0,62						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
Banda 4	Aumento	358	24	586	968	37,0%
	Decréscimo	21	507	1007	1535	33,0%
	Não Mudança	120	119	1758	1997	88,0%
	Soma Parcial	499	650	3351	4500	
	Exatidão Produtor	71,7%	78,0%	52,5%		
Q = 0,583 ou 58,3% e Kappa = 0,30						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
Banda 5	Aumento	678	5	286	969	70,0%
	Decréscimo	0	792	733	1525	51,9%
	Não Mudança	120	196	1690	2006	84,2%
	Soma Parcial	798	993	2709	4500	
	Exatidão Produtor	85,0%	79,8%	62,4%		
Q = 0,702 ou 70,2% e Kappa = 0,52						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
NDVI	Aumento	743	3	223	969	76,7%
	Decréscimo	0	1509	27	1536	98,2%
	Não Mudança	77	837	1081	1995	54,2%
	Soma Parcial	820	2349	1331	4500	
	Exatidão Produtor	90,6%	64,2%	81,2%		
Q = 0,741 ou 74,1% e Kappa = 0,60						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
EVI	Aumento	767	2	199	968	79,2%
	Decréscimo	3	1319	213	1535	85,9%
	Não Mudança	451	269	1277	1997	63,9%
	Soma Parcial	1221	1590	1689	4500	
	Exatidão Produtor	62,8%	83,0%	75,6%		
Q = 0,747 ou 74,7% e Kappa = 0,61						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
1ª CP	Aumento	737	1	231	969	76,1%
	Decréscimo	0	1178	347	1525	77,2%
	Não Mudança	78	201	1727	2006	86,1%
	Soma Parcial	815	1380	2305	4500	
	Exatidão Produtor	90,4%	85,4%	74,9%		
Q = 0,809 ou 80,9% e Kappa = 0,70						
Situação	Classes	Aumento	Decréscimo	Não Mudança	Soma	Exatidão Usuário
2ª CP	Aumento	264	21	684	969	27,2%
	Decréscimo	28	443	1055	1526	29,0%
	Não Mudança	172	85	1748	2005	87,2%
	Soma Parcial	464	549	3487	4500	
	Exatidão Produtor	56,9%	80,7%	50,1%		
Q = 0,546 ou 54,6% e Kappa = 0,23						

Desta forma, pode-se dizer que o melhor desempenho global entre todos os testados foi da primeira componente principal que apresentou acerto global de 80,9% e Kappa = 0,70. Conforme KENNEDY *et al.* (2009) citam que a maioria dos programas de monitoramentos buscam simultaneamente qualidade de informação e menores custos, buscando para tanto equilibrar custos como a capacidade de

respostas dos sensores. Menciona ainda que em se falando em uma solução que atenda 80% das metas de acompanhamentos a custos reduzidos terão preferências em relação a soluções mais caras ou que demandem uma quantidade maior de recurso.

KENNEDY *et al.* (2009) fazem uma interessante reflexão a cerca das precisões. Este autor menciona que a decisão final de aceitar ou não um resultado de detecção de mudança é um tipo de análise custo-benefício, e é importante reconhecer que os mapas de detecção de mudança resultante terão essencialmente dois níveis de benefícios. O primeiro em relação ao próprio mapa e as informações por ele fornecidas que poderão ser analisadas e quantificadas, especialmente pelos especialistas em sensoriamento. A segunda trata do enfoque de gestão dos recursos naturais. Segundo este autor, um resultado de 90% de precisão para uma variável que não tem importância nenhuma de gestão terá menor relevância em relação a um resultado de 60% de precisão para uma variável de importante interesse de gestão (CZAPLEWSKI e PATTERSON, 2003 *apud* KENNEDY *et al.*, 2009). Assim fica claro que antes de avaliar os desempenhos deve-se entender a importância da informação gerada principalmente em relação ao tempo de obtenção de resposta.

Em geral, quando fala-se nas técnicas convencionais de detecção de mudanças citadas anteriormente, fala-se em dias para obtenção de resultados e, quem sabe até semanas ou meses.

Deve-se mencionar que o tempo de processamento desta rotina aqui proposta, para a cena avaliada, foi de aproximadamente 15 minutos. Sendo assim, podemos dizer que para o monitoramento dos projetos de REDD, com a aplicação da rotina proposta, poderíamos ter uma resposta para uma situação com acerto global superior a 80% num prazo de 15 minutos. Posteriormente, poder-se-ia realizar um refinamento das informações que não fossem corretamente classificadas pela rotina.

5. CONCLUSÕES

Os projetos de REDD ainda não possuem regras claras para o seu desenvolvimento, apesar das iniciativas já em andamento. Desenvolver tecnologias para definição de linha de base e monitoramento desses projetos é uma necessidade premente. Constatou-se nesta tese a necessidade destes projetos no tocante ao uso de tecnologias que permitam realizar o seu acompanhamento em larga escala e com velocidade, já que a maioria dos projetos em curso apresentam áreas extensas e dificuldades de monitoramento em campo, devido ao fato de estarem principalmente nas regiões tropicais.

Conclui-se que o algoritmo desenvolvido nesta tese proporcionou a detecção de mudanças na cobertura florestal automaticamente e com alto desempenho. Os resultados apontam precisões globais superiores a 80% e Kappa igual a 0,7. Assim, ele se constitui em tecnologia aplicável ao monitoramento dos projetos de REDD. A sua rapidez e acurácia trazem um grande diferencial em relação à técnica comumente aplicada para a detecção de mudanças, que trabalha primeiro com as classificações digitais das datas avaliadas para depois, então, realizar a detecção das alterações de uso do solo.

Pode-se ainda concluir que, tem por base os resultados globais encontrados neste trabalho, as bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 5 e suas derivadas (índices de vegetação e componentes principais), podem ser aplicadas ao monitoramento dos projetos de REDD.

Em relação ao desempenho das bandas, índices de vegetação e componentes principais, pode-se afirmar que com exceção da banda 4 e da 2ª componente principal, todas apresentaram índice de acerto global superior a 60% e coeficiente Kappa acima de 0,5, indicando desta forma, resultados satisfatórios. Pode-se afirmar que as grandes mudanças foram retratadas em todas as situações avaliadas tendo em vista as observações espaciais de desempenho do algoritmo.

Conclui-se ainda que o melhor desempenho é obtido com a utilização da 1ª componente principal ($Q = 80,9\%$ e $K=0,70$), seguido da banda 3 ($Q = 76,5\%$ e $K=0,62$), índice de vegetação EVI ($Q = 74,7\%$ e $K=0,61$), índice de vegetação NDVI ($Q = 74,1\%$ e $K=0,60$), banda 5 ($Q = 70,2\%$ e $K=0,52$), banda 4 ($Q = 58,3\%$ e $K=0,30$) e 2ª componente principal ($Q = 54,6\%$ e $K=0,23$). Deste modo, quando da

necessidade de monitoramento de projetos de REDD deve-se optar preferencialmente pela 1ª componente principal ou banda 3, tendo em vista os acertos globais superiores a 75%.

O algoritmo alvo desta tese foi desenvolvido na linguagem do MATLAB. No entanto, ele pode ser convertido para qualquer outra linguagem, desde que se interprete e traduza as rotinas construídas.

Cabe ressaltar que a banda 3 apresentou uma confusão em relação a alguns recursos hídricos pontuais, como o exemplo da indicação de mudanças no Rio Chopim. Desta forma, quando da sua utilização, deve-se atentar para situações semelhantes que podem vir a ocorrer. Infelizmente as faixas espectrais são fixas e, em geral, com intervalos consideráveis, que acabam por englobar diversas amplitudes que poderiam vir a serem utilizadas na separação dos alvos. Desta maneira, apesar de a banda 3 ter apresentado um desempenho satisfatório para as mudanças na vegetação, dentro deste espectro também ficaram retratadas as mudanças nos recursos hídricos, indicando erroneamente alguns rios como o caso do Rio Chopim. Como solução a esta situação poderia ser utilizada uma máscara para os recursos hídricos sob as detecções de mudanças indicadas.

É importante ressaltar que o desempenho da rotina ficará sempre condicionado à qualidade das amostras iniciais de não mudanças e não florestas utilizadas para o ajuste da regressão. Caso as amostras sejam representativas das situações de não mudanças e não florestas, e estas não se confundam espectralmente com outras classes, o desempenho da rotina tende a ser melhor.

Os resultados gerados para este trabalho não levam em consideração todas as particularidades de vegetação que poderão ser encontradas nos biomas e ecossistemas brasileiros. Desta forma, é importante que o desempenho da rotina seja testado por técnicos que tenham experiência na interpretação dos alvos e conhecimento técnico necessário para aplicá-la ou customizá-la para situações particularizadas. O desempenho da rotina poderá não ser satisfatório se estes aspectos não forem respeitados.

Por fim, é importante salientar a necessidade de uma constante interação do usuário final com o resultado gerado pela rotina, visando sempre um refinamento das informações geradas e, assim, buscar a melhoria contínua nos resultados gerados na aplicação dos projetos que envolvem mudanças na cobertura florestal e suas aplicações ao REDD.

6. RECOMENDAÇÕES

Embora a rotina aqui desenvolvida seja automatizada, ou seja, gera resultados de detecção de mudanças na cobertura florestal sem a necessidade de trabalhos em campo, é altamente recomendável que exista uma verificação *in loco* para a correta interpretação das situações de uso do solo avaliadas. Desta forma, recomenda-se que, sempre que possível, seja efetuada a verificação em campo para validar os resultados gerados pela mesma.

É importante destacar que os procedimentos aqui descritos foram desenvolvidos para imagens de média resolução espacial. Desta forma, acredita-se que esta metodologia possa ser aplicada em imagens de outros sensores óticos de média resolução espacial. Entretanto, recomenda-se que seu desempenho seja testado antes da aplicação indiscriminada.

Tendo em vista que a degradação florestal muitas vezes acarreta mudanças muito sutis na cobertura florestal, tornando-se difícil a percepção através de sensores de média resolução espacial, recomenda-se que estes procedimentos também sejam testados e aprimorados para sensores de alta resolução espacial.

Deve-se destacar também que na aplicação da rotina deve-se sempre procurar utilizar imagens com meses semelhantes dentro do período anual, preferencialmente dentro da mesma estação do ano tendo em vista as interferências desta na vegetação.

Recomenda-se que sempre que a banda 3, EVI e primeira componente principal forem utilizadas, atenção para possíveis erros decorrentes de mudanças ocorridas nos recursos hídricos.

Recomenda-se também atenção especial na aplicação da rotina quando da utilização em outros ecossistemas e biomas brasileiros, haja vista as diferenças possíveis nos comportamentos espectrais da vegetação. Deve-se procurar avaliar o desempenho da mesma antes de sua aplicação.

Por fim, recomenda-se que a rotina seja aplicada ao monitoramento dos projetos de REDD, dentro da proposta temporal do projeto e, posteriormente, que os resultados sejam checados em laboratório por técnicos que dominem informações sobre o comportamento espectral de alvo, não esquecendo da validação em campo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCO, M. **Modelagem de Dados do Satélite IKONOS II para estimativa de Micronutrientes na Floresta Ombrófila Mista Montana**. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.
- ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H.-J.; MAYAUX, P.; GALLEG0, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J.-P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**. v. 297, p. 999-1002, 2002.
- ADAMS, J. B.; SABOL, D. E.; KAPOs, V.; ALMEIDA FILHO, R.; ROBERTS, D. A.; SMITH, M. O.; GILLESPIE, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of edmembers: aplication to land-cover change in the brazilian amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, n. 2, p.137-154, 1995.
- AEA - AGÊNCIA EUROPÉIA DO AMBIENTE **Sinais da AEA - Questões Ambientais Chave para a Europa. Não apenas ar quente - Diplomacia global e a procura de um sucessor para o Protocolo de Quioto**. Luxemburgo: Serviços das Publicações Oficiais das Comunidades Européia. 2009. 40p.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; VERA DIAZ, M.D.C. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO Years: Area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**. v. 10, nº 6. 2006. 1-16p.
- ALIANÇA CLIMA, COMUNIDADE E BIODIVERSIDADE – CCBA. **Padrões para Concepção de Projetos**. Segunda Edição – Versão em Português. CCBA, Arlington, VA. 2008. 58p.
- ALWASHED, M.A.; BOKHARI, A.Y., Monitoring vegetation changes in Al Madinah Saudi Arabia, using Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**. 14 2. pp. 191–197. 1993.
- ANGELSEN, A. **Moving Ahead with REDD – Issues, Options and Implications**. Indonesia: CIFOR, 2008. 156p.
- ASSUNÇÃO, G.V., FORMAGGIO, A.R. **O Sensoriamento Remoto na Agricultura: Conceitos Básicos, Metodologias e Aplicações**. São José dos Campos: INPE. 1989. 217 p.
- BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES -. Acesso em 01/05/2009. <http://www.bndes.gov.br/noticias/2009/not036_09.asp>

- BAPTISTA, G.M.M.; CARVALHO, J.M.; CAMACHO, R.G.V.; BIAS, E.S.; ZARA, L.F. Variação sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró, RN, por meio de dados ASTER. In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII. 2005. Goiânia. **Anais...**2843-2850p.
- BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica**. 119 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2006.
- BERNARDES, T.; ALVES, H.M.R.; VIEIRA, T.G.C.; ANDRADE, H. Avaliação da acurácia do mapeamento do uso da terra no complexo Serra Negra, Patrocínio, MG, por interpretação visual e classificação automática de imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007, Florianópolis. **Anais...** 5587-5594p.
- BONTEMPS, S.; BOGAERT, P.; TITEUX, N.; DEFURNY, P. An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 112, 3181–3191p., 2008.
- BRASIL. Decreto nº 6.527, de 01 de agosto de 2008. Dispõe sobre o estabelecimento do Fundo Amazônia pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v.126, n.66, p.6009, 04 de agosto de 2008. Seção 1, pt. 1.
- BRUZZONE, L.; PRIETO, D. F. Automatic Analysis of the Difference Image for Unsupervised Change Detection, **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 3, p. 1171-1182, 2000.
- BYRNE, G.F.; CRAPPER, P.F.; MAYO, K.K. Monitoring land cover change by principal components analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.10, p.175-185, 1980.
- CANTY, M.J. **Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, With Algorithms for ENVI/IDL**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. 368p.
- CENAMO, M. Projeto de RED da RDS do Juma recebe “Status Ouro” em validação do CCBA. Fonte: <http://www.idesam.org.br/noticias/Artigo%20Site%20IDESAM%2022%20out.pdf>. Acesso em: 04/01/2010.
- CENAMO, M.; PAVAN, M.N.; CAMPOS, M.T.; BARROS, A.C.; CARVALHO, F. **Casebook of REDD Projects in Latin America**. 1st Edition. Manaus, 2009. 80p.
- CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: UFPR. 2004. 209p.

- CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; BARSİ, J.A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**. v. 4, n° 3, 490-494p, 2007.
- CHARIF-CHEFCHAOUNI, M.; SCHONFELD, D. Morphological representation of order-statistics filters. **Image Processing**. v. 4, Issue 6, n° 6, 838-845p., 1995.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Unigraf, 1990. 453p.
- COHEN, W.B.; MAIERSPERGER, T. K.; YANG, Z.; GOWER, S.T.; TURNER, D. P.; RITTS, W. D.; BERTERRETCHE, M.; RUNNING, W. S. Comparisons of land cover and LAI estimates derived from ETM+ and MODIS for four sites in North America: a quality assessment of 2000/2001 provisional MODIS products. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 88, n° 1, 233-255p., 2003.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 3, n° 3, 83-175p., 1974.
- CONGALTON, R.G.; MEAD R.A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.49, n.1, p.69-74, 1983.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I. ; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**. Londres, v. 25, n. 9, 1565-1596p., 2004.
- COPPIN, P.R.; BAUER, M.E. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. **IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing**, 32(4):918-927, Jul. 1994.
- DEFRIES, R., HOUGHTON, R.A., HANSEN, M., FIELD, C., SKOLE, D.L. AND TOWNSHEND, J. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 90s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 99(22): 14256-14261. 2002.
- DEKKER, A.G.; MALTHUS, T.J.; SEYHAN, E. Quantitative Modeling of Inland Water Quality for High-Resolution MSS Systems. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n.1, p. 89-95, January 1991.
- DU, Y.; TEILLET, P.M.; CIHLAR, J. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. **Remote Sensing of Environment**. 82: 123-134. 2002.
- EKLUNDH, L.; SINGH, A. A comparative analysis of standardized and unstandardized principal components analysis in remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**. v. 14, n° 7, 1359-1370p. 1993.

- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture**. FAO Agriculture Series, Nº 27. Rome, Italy. 1995.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global forest resource assessment 2005: towards sustainable forest management**. Roma, 2005. 351p.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global Forest Resources Assessment 2000**. Main Report. Rome, Italy. 2001.
- FOODY, G. M.; BOYD, D. S. Detection of partial land cover change associated with the migration of inter-class transitional zones, **International Journal of Remote Sensing**. 20, 2723-2740. 1999.
- FUNG, T. An assessment of TM imagery for land-cover change detection. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v.28, n.4, p.681-684, 1990.
- FUNG, T.; LEDREW, E. Application of Principal Components Analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 53. 1649-1657p. 1987.
- FUPEF-CNPq - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). **Conservação do bioma Floresta com Araucária**. Curitiba: Relatório Final, v. 1 e 2, 2001.
- GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto: princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel. 1982.
- GEIST, H.J.; LAMBIN, E.F. What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. **LUCC International Project Office**. Project Report Series nº. 4. Belgium: Louvain-la-Neuve. 2006. 116p.
- GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**. v.4, p.1-212, 1988.
- GOEL, N.S.; STREBEL, D.E. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. **Agronomy Journal**. v. 76, p. 800-802, 1984.
- GONÇALVES, F.D.; MARTINS, P.W.; FILHO, S. Classificação de imagens RADARSAT-1 e LANDSAT-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na zona costeira amazônica. In: Anais do Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 3. 2005. Salvador. **Anais...**1-6p.

- GONÇALVES, F.D.; SOUZA FILHO, P.W.M.; MIRANDA, F.P.; PARADELLA, W.R. Técnicas automáticas para geração de mapas de índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará, Belém-PA. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 58/03, 255-262p, 2006.
- GOODENOUGH, D.; BHOGAL, A.S.; FOURNIER, R.; HALL, R.J.; IISAKA, J.; LECKIE, D.; LUTHER, J.E.; MAGNUSSEN, S.; NIEMANN, O.; STROME, W.M. Earth Observation for Sustainable Development of Forests (EOSD). In: Remote Sensing Symposium, 20. 1998. Calgary, Alberta. **Anais...** 57-60p.
- GUIMARÃES, A.S.; TRAVASSOS, P.; SOUZA FILHO, P.W.M.; GONÇALVES, F.D.; COSTA, F. A participação da aquicultura na conversão de áreas de manguezal em viveiros no litoral norte do estado de Pernambuco/Brasil: uma análise a partir de dados de sensoriamento remoto e SIG. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV. 2009. Natal. **Anais...** 4599-4606p.
- GUYOT, G. **Optical Properties of vegetation canopies – applications of Remote Sensing in Agriculture**. France: Editora Butterworths. 1990. 427p.
- HARRIS, R. Landsat TM principal components analysis of Oman. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, nº 12, 2001. 2241 – 2242p.
- HEJMANOWSK, B.; MULARZ, S. Integration of multitemporal ERS.2 SAR and Landsat TM data for soil moisture assessment. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIII. part B7. 2000. Amsterdam. **Anais...** 511-518p. 1 CD-ROM.
- HEROLD, M. **Land Cover – Essential Climate Variables. Assessment of the status of the Development of the Standards for the Terrestrial Essential Climate Variables**. Global Terrestrial Observing System. Roma. Version 16. 2009. 25p.
- HOFFER, R. M.; LEE, K. S. Change Detection of Forest Cover Using Satellite Radar Data. In: **Third Forest Service Remote Sensing Applications Conference**. Proceedings, p.349-355. 1990.
- HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.53 n.4 p.421-422, 1987.
- HUETE, A.R. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 25, nº. 3, p. 295-309p., 1988.
- HUETE, A; JUSTICE C. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/VAL/land_val_plan.pdf, 35p. 1999.

- HUETE, A; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEWEEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n. 59, p. 440–451, 1997.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Mapa de Rodovias do Paraná**. Sistema Compartilhado de Informações Ambientais. Sistema de Projeção UTM, Datum SAD-69.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 92p.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Deforestation estimates in the Brazilian Amazon**. São José dos Campos: Web-site: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2008.htm. Acesso: 10/12/2008.
- IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Mapa da **Hidrografia do Estado do Paraná**. Vetorizado com base nas Cartas Topográficas 1:250.000. Sistema de Projeção UTM, Datum SAD-69.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4)**, Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Genebra, Suíça. 2007.
- ISMAIL, M.H.; JUSOFF, K. Satellite Data Classification Accuracy Assessment Based from Reference Dataset. **International Journal of Computer and Information Science and Engineering**. Spring. nº 2, 96-102p., 2008.
- ITCG - Instituto de Terras, Cartografia e Geociências. Mapa da Divisão Política Administrativa do Paraná do ano de 2007. Sistema de Projeção UTM, Datum SAD-69.
- JACKSON, R.D., HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Journal of Preventive Veterinary Medicine**, 11:185-200 p. 1991.
- JANETOS, A.; FAHERN, F. CEOS Pilot Project: Global Observations of Forest Cover (GOFC) **Ottawa Workshop Report**, Ottawa, Ontario: Version 3.3, July 7-10, 1997.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª edição por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.
- JAH, C.S.; UNNI, N.V.M. Digital change detection of forest conversion of a dry tropical Indian forest region. **International Journal of Remote Sensing**. 15 13, pp. 2543–2552. 1994.
- JIN, C.; PENG, G.; CHUNYANG, H.; RUILIANG, P.; PEIJUN, S. Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis.

Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v. 69, nº. 4, 2003. 369–379 p.

JUNIOR, A.F.C.; ENCINAS, J.I.; JUNIOR, O.A.C.; MARTINS, E.S.; GOMES, R.A.T. Mapeamento temporal da cobertura da terra do EcoMuseu do Cerrado, Goiás, através do uso de imagens do sensor MODIS. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII. 2007. Florianópolis. **Anais...**3841-3847 p.

JUNIOR, O.A.C.; SAMPAIO, C.S.; SILVA, N.C.; JUNIOR, A.F.C.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y.E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor modis no parque nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica.** v. 26, nº 4, 505-517p., 2008.

KACHMAR, M.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, A.; RIVARD, B.; KAKUBARI, Y. Improved Forest Cover Classification in an Industrialized Mountain Area in Japan. **Mountain Research and Development.** v. 25, no. 4, 349-356p., 2005.

KAIMOWITZ, D.; ANGELSEN, A. **Economic models of Tropical Deforestation: a review.** CIFOR: Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 1998. 153p.

KANNINEN, M.; MURDIYARSO, D.; SEYMOUR, F.; ANGELSEN, A.; WUNDER, S.; GERMAN, L. Do trees grow on money? The implications of deforestation **research for policies to promote REDD.** CIFOR: Center for International Forestry Research. Info Brief. Bogor, Indonesia. nº 14, 2008. 4p.

KENNEDY, R.E.; TOWNSEND, P.A.; GROSS, J.E.; COHEN, W.B.; BOLSTAD, P.; WANG, Y.Q. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. **Remote Sensing Environment.** v. 113, 1382–1396p. 2009.

KHORRAM, S.; BIGING, G.; COLBY, D.; CONGALTON, R.; DOBSON, J.; FERGUSON, R.; GOODCHILD, M.; JENSEN, J.; MACE, T. **Accuracy assessment of remote sensing derived change detection.** Monograph. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda. 1998. 64 p.

KIRCHNER, F.; MITISHITA, E.A.; PREOSCK, R.E. Processamento digital de imagens orbitais como ferramenta no monitoramento de áreas degradadas. In: **Encontro Paranaense de Reabilitação de Áreas Mineradas.** II. São Mateus do Sul. 1988. 1-5p.

KRESSLER F.; STEINNOCHER K. Change detection in urban areas using satellite data and spectral mixture analysis. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,** Vol. 31, Part B7, pp. 379-383. 1996.

- LAMBIN E.F.; LINDERMAN M. Time series of remote sensing data for land change science. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 44, nº 7, 1926-1928p. 2006.
- LAMBIN, E.F.; STRAHLER, A.H. Change vector analysis in multi-temporal space: a tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal resolution satellite data. **Remote Sensing of Environment** 48, 231–244. 1994.
- LANDIS, J.R.; KOCK, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometric**, v.33, n.1, p. 159-174, 1997.
- LE HÉGARAT-MASCLE, S.; SELTZ, R. Automatic change detection by evidential fusion of change indices. **Remote Sensing of Environment**, 91:390-404, 2004.
- LEVIEN, L.M., FISCHER, C.S., ROFFERS, P.D., MAURIZI, B.A., SUERO, J., FISCHER, C. AND HUANG, X. A Machine-Learning Approach to Change Detection Using Multi-Scale Imagery Proceedings. In: **ASPRS Annual Conference**, Portland, Oregon. 1:22p. 1999.
- LI, C. Remote Sensing Image Based Analysis on Present Land Utilization of Chongqing Area. **Journal of Geography and Geology**. v. 1, nº 1. 20-25p., 2009.
- LORENA, R.B.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; BROWN, I. F.; KUX, H.J.H. A change vector analysis technique to monitor of landuse/land cover in SW Brazilian Amazon, Acre State. In: **PECORA 15 - Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale**. Denver, Colorado/USA, Nov., 8-15p. 2002.
- LOVELAND, T. R.; SOHL, T. L.; STEHMAN, S. V.; GALLANT, A. L.; SAYLER, K. L.; NAPTON, D. E. (2002). A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 68, nº 10, 1091–1099p. 2002.
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. Londres, v. 25, nº 12, 2365-2407p., 2004.
- LUNETTA, R. L.; JOHNSON, D. M.; LYON, J. G.; CROTWELL, J. Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring. **Remote Sensing of Environment**. v. 89, nº 4, 444–454p. 2004.
- LUNETTA, R.L.; ELVIDGE, C.D. **Remote Sensing and Change Detection: Environmental monitoring methods and applications**. Michigan: Ann Arbor Press. 1998. 318p.

- LYON, J.G.; YUAN, D.; LUNETTA, R.S.; ELVIDGE, C.D. A change detection experiment using vegetation indices. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 64., 143–150p. 1998.
- MACHADO, C.C.C.; OLIVEIRA, T.H. de; GALVINCIO, J.D.; SILVA, J.S. Utilização do EVI e Albedo da superfície para análise das mudanças ambientais em parte do município de Corumbá, MS e Ladário, MS. In: **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.460-469.
- MALDONADO, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. 328f. São José dos Campos, INPE. (Tese de doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.
- MALDONADO, F.D.; SANTOS, J.R.; CARVALHO, V.C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5005-5013p. 2002.
- MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures. **EOSAT Landsat Technical Notes**, nº. 1, August 1986. 6p.
- MAS, J. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques, **International Journal of Remote Sensing**, 20: 139-152. 1999.
- MAS, J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**. Londres, v. 20, nº. 1, 139-152p, 1998.
- MATTOS, F. D. de A. **Identificação de estratos de reflorestamentos através de imagens orbitais do Landsat 5**. 136f. Curitiba, UFPR. (Dissertação de mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 1993.
- MENESES, P.R. **Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral - Entendendo o que é Radiometria**. Pág. 15 a 40 do Livro Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais. Organizadores: Paulo Roberto Meneses e José da Silva Madeira Neto. Editora UnB – Embrapa Cerrados Brasília, DF. 2001. 262p.
- MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2007. 295p.
- MCT - MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília. 2004. 86p.
- MOITA NETO, J.M.; MOITA, G.C. **Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados**. Química Nova, v. 21, nº 4, 1998. 467-469p.

- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1ª Edição. São José dos Campos. 2001. 250 p.
- MOUTINHO, P.; SCHARTZMAN, S. **Tropical deforestation and climate change**. IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia e Environmental Defense. Belém, 2005. 132p.
- MUCHONEY, D.M.; HAACK, B.N. Change detection for monitoring forest defoliation. **International Journal of Remote Sensing**, London v.60, n.10, p.1243-51, 1994.
- NAGAO, M.; MATSUYAMA, T. Edge preserving smoothing. **Computer Graphics and Image Processing**. v. 9, nº 4, 391-407p., 1979.
- NASCIMENTO, P.S.R. Efeito de pré-processamento (ajuste) no desempenho da segmentação e classificação de imagens LANDSAT-TM. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IX. 1998. Santos. **Anais...** 981-989p.
- NELSON, R.; HOLBEN, B. Identifying Deforestation in Brazil Using Multiresolution Satellite Data. **International Journal of Remote Sensing**, 7:429-448. 1986.
- NEPSTAD, D. **The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon**. Falmouth - USA. 2007. 32p.
- NICCOLI-WALLER, C.A.; HARVEY, J.; NORDIN, S.; MURPHY, C. Remote odor memory in Alzheimer's disease: deficits as measured by familiarity. **J. Adult Dev.** 6, pp. 131-136. 1999.
- NIELSEN, A. A.; CONRADSEN, K.; SIMPSON, J. J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF processing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies. **Remote Sensing of Environment**, 64, 1-19p. 1998.
- NONATO, R.T.; RODRIGUES, L.H.A. **O efeito da utilização de diferentes índices de vegetação na classificação de imagens digitais pela aprendizagem por árvore de decisão**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 997-1004.
- NOVO, E.M.L.M. Comportamento espectral da água. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (Org). **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª Edição. São Paulo: E. Blücher. 1995. 308p.
- NOVO, E.M.L.M.; FERREIRA, L. G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D.A.; HESS, L.L.;

- MELACK, J.J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR, V.; MYNENI, R.; RATANA, P.; DIDAN, K.; MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**. Manaus. 2005. v. 35, nº 2. 259 – 272p.
- NUNES, A.C.M. **Deteção automática de alteração do coberto florestal com imagens de satélite de grande e muito grande resolução espacial**. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.
- ORTIZ, M.J.; RODRIGUES, D.M.S.; MACHADO, M.M.; COVRE, M.; BRAGA, E.A.; SOARES, C.C.; FARIA, K. de Implantação do sistema de monitoramento da cobertura vegetal e do uso do solo do Estado de Minas Gerais, Brasil, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas (SIG). In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII. 1996. Salvador. **Anais...** 547-550p.
- PAGE, S.E.; SIEGERT, F.; RIELEY, J.O.; BOEHM, H.D.V.; JAYA, A.; LIMIN, S. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**, v. 420, n.6911, p. 61-65, 2002.
- PARKER, C.; MITCHELL, A.; TRIVEDI, M.; MARDAS, N. **The Little REDD Book**. Global Canopy Foundation. Oxford. 2008. 112p.
- PEREIRA FILHO, W. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo da influência das características da bacia de captação na concentração de sólidos em suspensão em reservatório: o exemplo de Tucuruí**. 175 f. 1991. Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos. 1991.
- PETERSON, D.J.; RESETAR, S.; BROWER, J.; DIVER, R. **Forest Monitoring and Remote Sensing: A Survey of Accomplishments and Opportunities for the Future**. Science and Technology Policy Institute. Washington. 1999. 99p.
- PILON P.G; HOWARTH P.J; BULLOCK, R.A.Q. An enhanced classification approach to change detection in semi-arid environments. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 54: 1709–1716. 1988.
- PIWOWAR, J.M., DEREK, R.P.; LEDREW, E. Temporal mixture analysis of Arctic Sea ice imagery: a new approach for monitoring environmental change. **Remote Sensing of Environmental**, New York, v. 63, n. 3, p. 195-207, 1998.
- PONZONI, F.J. **Sensoriamento Remoto no estudo da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002. 28p.

- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos. 2007. 150p.
- QUIRINO, V.F.; SANTOS, J.R.; MALDONADO, F.D.; CRVALHO, V.C. Técnicas de rotação radiométrica de imagens Landsat/TM como ferramenta de detecção de mudanças da paisagem da Amazônia. In: Anais do Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, IV. 2005. Curitiba. **Anais...** 1-6p.
- RADELOFF, V. C.; MLADENOFF, D. J.; BOYCE, M. S. Detecting Jack Pine Budworm Defoliation Using Spectral Mixture Analysis: Separating Effects from Determinants. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, n. 2, 156-169p, 1999.
- RIDD, M.K.; LIU, J. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment, **Remote Sensing of Environment** 63 (1998), pp. 95–100. 1998.
- RIVERA, V.O. **Hyperspectral change detection using temporal principal component analysis**. University of Puerto Rico. 2005. 113p.
- ROBERTS D.A.; GARDNER M.; CHURCH R.; USTIN S.; SCHEER G.; GREEN R.O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, 65:267-279. 1998.
- ROGAN, J.; FRANKLIN, J.; ROBERTS, D.A. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. **Remote Sensing of Environment**. v. 80, 143– 156 p., 2002.
- ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Cidade, v.52 n.2 p.223-227, 1986.
- ROSOT, M.A.D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção com Floresta com Araucária? **Pesq. Flor. Bras. Colombo**, n.55, p.75-85, jul./dez. 2007.
- ROY P.S.;RANGANATH B.K.; DIWAKAR P.G.; VOHRA T.P.S.; BHAN S.K.; SINGH I.J.; PANDIAN V.C.; Tropical forest type mapping and monitoring using remote sensing. **International Journal of Remote sensing**, Vol.12, No.11,2205-2225. 1991.
- SADER, S. A., POWELL, G. V. N.; RAPPOLE, J. H. Migratory bird habitat monitoring through remote sensing, **International Journal of Remote Sensing**, 12, 363–372. 1991.
- SANQUETTA, C.R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das florestas de Araucária**. Curitiba: PELD/CNPQ, 2006, 297p.
- SANTILLI, M. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. In: MOUTINHO, Paulo & SCHWARTZMAN, Stephan (Org.). **Tropical deforestation and climate change**. Belém – PA: IPAM – Instituto de

Pesquisa Ambiental da Amazônia; Washington DC – USA: Environmental Defense, 2005, p. 47-52.

SANTILLI, M.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; NOBRE, C. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. **Climate Change**. Belém – PA. 71: 267-276p. 2005.

SANTOS, J. R. dos Avanços das pesquisas e aplicações de sensoriamento remoto no monitoramento da paisagem: contribuições ao estudos do Pantanal. In: Anais do Simpósio de geotecnologias no Pantanal, 1. 2006. Campo Grande. **Anais...** 675-683p.

SCHLAMADINGER, B., BIRD, N; JOHNS, T; BROWN, S; CANADELL, J.; CICCARESE, L. A synopsis of land-use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords, **Environmental Science and Policy**, 10 27, 1-282. 2007.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 3rd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.

SESTINI, M.F.; SANTOS, C.P.F. dos; VALLES, G.de F.; VALERIANO, D. de M. Avaliação da Acurácia Do Mapeamento Temático Para o Bioma Amazônia Por Meio de Videografia. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII. 2007. Florianópolis. **Anais...** 6957-6959 p.

SHOSHANY, M. Satellite remote sensing of natural Mediterranean vegetation: a review within an ecological context. **Progress in Physical Geography**, 24, pp. 153-177. 2000.

SILVA, A.A. Uso de sensoriamento remoto pra o monitoramento ambiental dos Cerrados. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XI. 2005. Universidade de São Paulo. São Paulo. **Anais...** 1-13p.

SILVA-CHAVEZ, AND A. PETSONK. Rainforest credits. **Carbon Finance**. 6:18p. 2006.

SINGH, A.; HARRISON, A. Standardised Principal Components. **International Journal of Remote Sensing**. 1989. v. 6. 883-960p.

SKUTSCH, M.; BIRD, N.; TRINES, E.; DUTSCHKE, M.; P. FRUMHOFF, P.; JONG, B. H. J. DE; P.; VAN LAAKE, P.; MASERA, O.; MURDIYARSO, D. Clearing the way for reducing emissions from tropical deforestation, **Environmental Science and Policy** 10, 322-334. 2007.

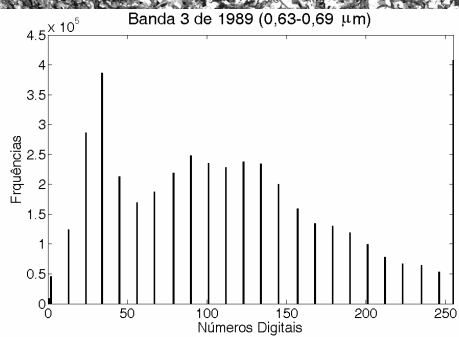
SLATER, P.N. Radiometric consideration in remote sensing, **Proc. IEEE**, 73(6):997-1011, 1985.

SMITS P.C.; ANNONI, A. Cost-based feature subset selection for interactive image analysis. In: Proceedings of the International Conference on Pattern

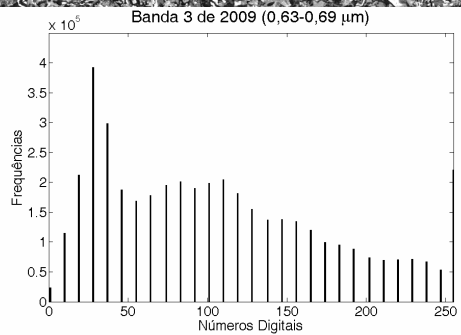
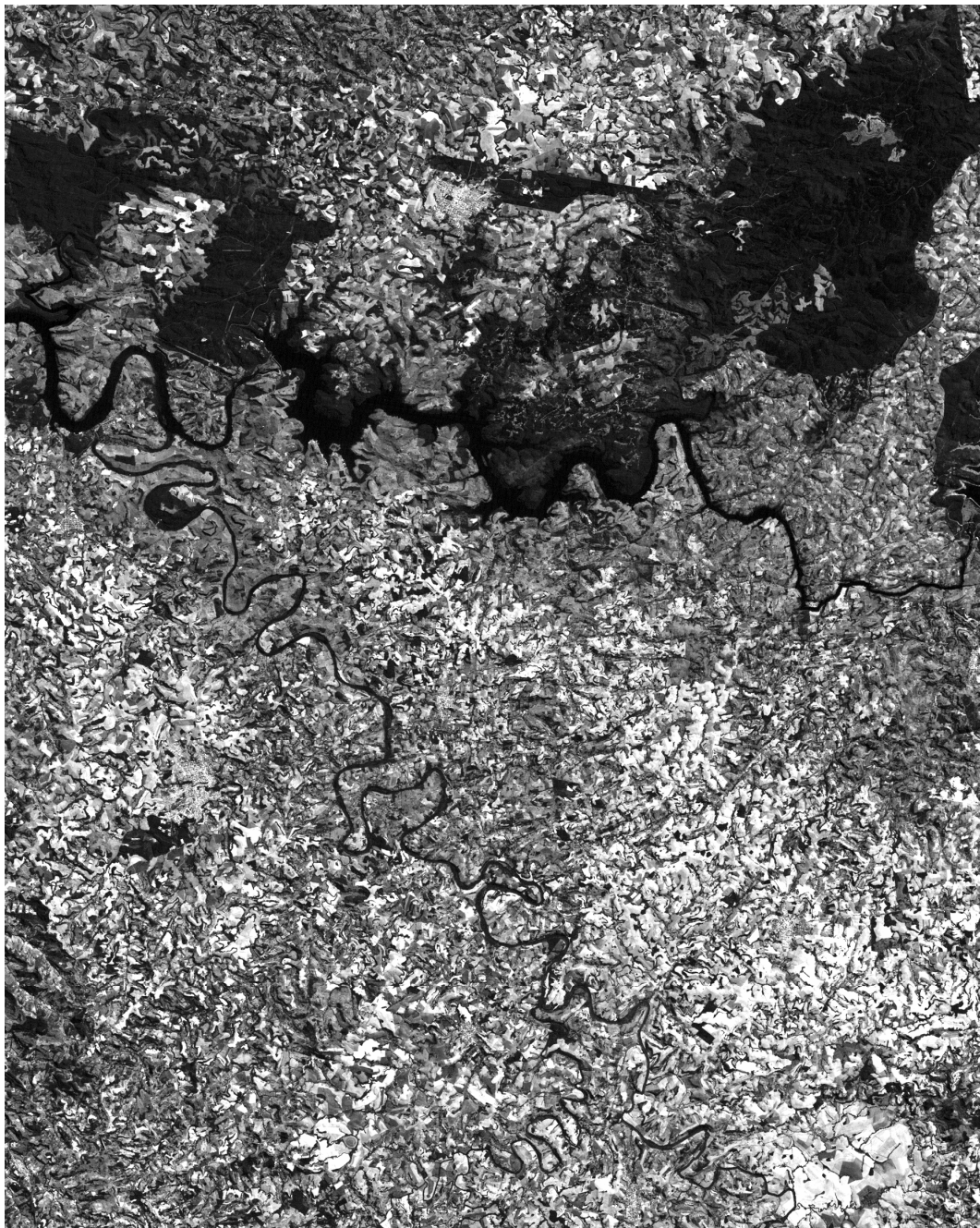
- Recognition (ICPR) 2000, Barcelona. **IEEE Computer Society Press**, pp. 386–389. 2000.
- SOARES FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; VOLL, E.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.
- SOARES, V.P.; BRITES, R.S.; RIBEIRO, C.A.A.S. Avaliação da mudança da cobertura em áreas reflorestadas usando razão de bandas de imagens de satélite. **Cerne**. v.4, nº.1, 022-033p, 1998.
- SOUZA, C. J. S.; COSTA, K. S. P.; MARTINS, B. M.; NOGUEIRA, M. M. Análise espaço-temporal da urbanização na ilha do Maranhão através da subtração de imagens multitemporais de sensoriamento remoto. In: Anais do Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, XIII. 2007. Natal. **Anais...** 8p.
- SPIEGEL, M.R. **Theory and problems of statistic**. New York: Mc Graw-Hill, 1961. 359 p.
- STUART, N.; JAAS, T.; ZISOPOULOS, I.; VIERGEVER, K. Methods for Estimating the Accuracy of Per-Pixel, Per-Parcel and Expert Visual Classification of High Resolution Optical Satellite Imagery. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences Shanghai. 2008. China. **Anais...** 163-170p.
- TOMPPO, E. Peatland forests in Finland 1951-1994. In: Sopo R. (ed). Proceedings of the International Peat Symposium. **The Spirit of Peatlands**. Finland. 1998. 84-86p.
- UNFCCC. **Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention**. Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries. 2009. 4p. Web-site: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/awglca8/eng/l07a06.pdf>
- USTIN, S. L.; SMITH, M. O.; JACQUEMOUD, S.; VERSTRAETE, M.; GOVAERTS, Y. Geobotany: vegetation mapping for Earth Sciences. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Remote sensing for the Earth Sciences**. New York: Wiley, p. 251-307. 1999.
- VALERIANO, D.M. **Interações da radiação solar com a vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1988. 36 p.
- VAN DEN BROEK, A.C.; SMITH, A.J.E.; TOET, A. "Land use classification of polarimetric SAR data by visual interpretation and comparison with an

- automatic procedure". **International Journal of Remote Sensing**. v. 25, nº 18, 3573-3591p, 2004.
- VOGELMANN, J.E. Detection of forest change in the Green Mountains of Vermont using Multispectral Scanner data. **International Journal of Remote Sensing**, 9:1187-1200. 1988.
- WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; MADRUGA, P. R. A. Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. Irati, v. 5, nº 1, 2003. 47-57p.
- WEBER, E.J.; SANTOS, M.V. Analisis estadístico de la estimación de areas cultivadas con arroz (*Oriza sativa* L.) bajo riego utilizando productos de percepción remota. In: Anais do Simposio Argentino de Teledetección, 3. 1994. Universidad Nacional de Cordoba. Cordoba, Argentina. **Anais...s/n**
- WERTZ-KANOUNNIKOFF, S.; KONGPHAN-APIRAK, M. **Emerging REDD+. A preliminary survey of demonstration and readiness activities**. CIFOR. Working paper nº 46. Indonésia. 2009. 44p.
- WESSMAN, C. A.; C. A. BATESON, C.A.; BENNING, T.L. Detecting fire and grazing patterns in tallgrass prairie using spectral mixture analysis. **Ecological Applications** 7:493–511. 1997.
- ZĂVOIANU, F.; CARAMIZOIUB, A.; BADEAA, D. Study and accuracy assessment of remote sensing data for environmental change detection in Romanian coastal zone of the Black Sea. ISPRS Congress Geo-Imagery Bridging Continents, XX. 2004. Instabul. **Anais...** v.7. 778-783p.
- ZHANG, Z; VERBEKE, L; CLERCQ, E.D.; OU, X.; WULF, R.D. Vegetation change detection using artifical neural networks with ancillary data in Xishuangbanna, Yunnan Province, China. **Chinese Science Bulletin**. China, v. 52, sup II, 232-243p., 2007.
- SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; DUARTE, V.; GRAÇA, P. M.A.; SILVA, P.G. Linear spectral mixture model as a tool for monitoring deforestation and timber exploitation in the Brazilian Amazon. In: SPIE-Remote Sensing for Agriculture Ecosystems and Hidrology, 4., 2002. Agia Pelagia, Crete, Greece. Proceedings. Sept., 2002. p. 320-325. [CDROM].

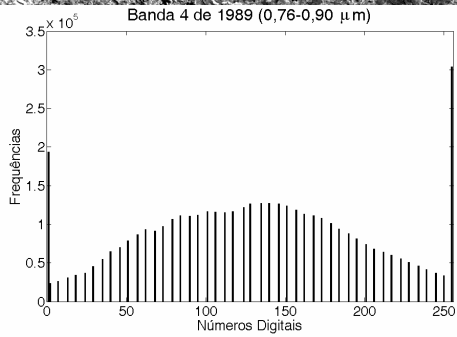
ANEXO 1 – IMAGENS UTILIZADAS PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS



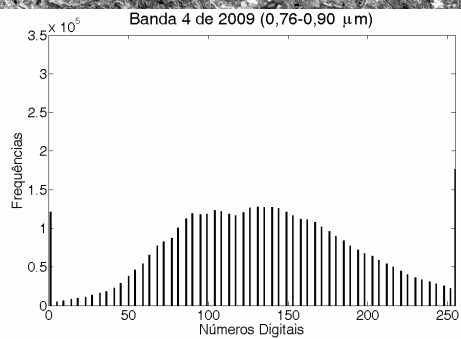
Banda 3 – Ano de 1989



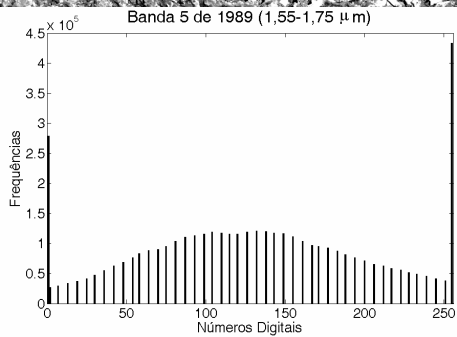
Banda 3 – Ano de 2009



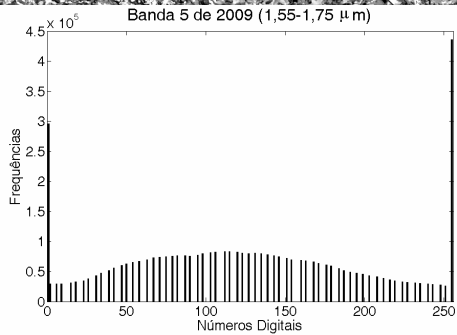
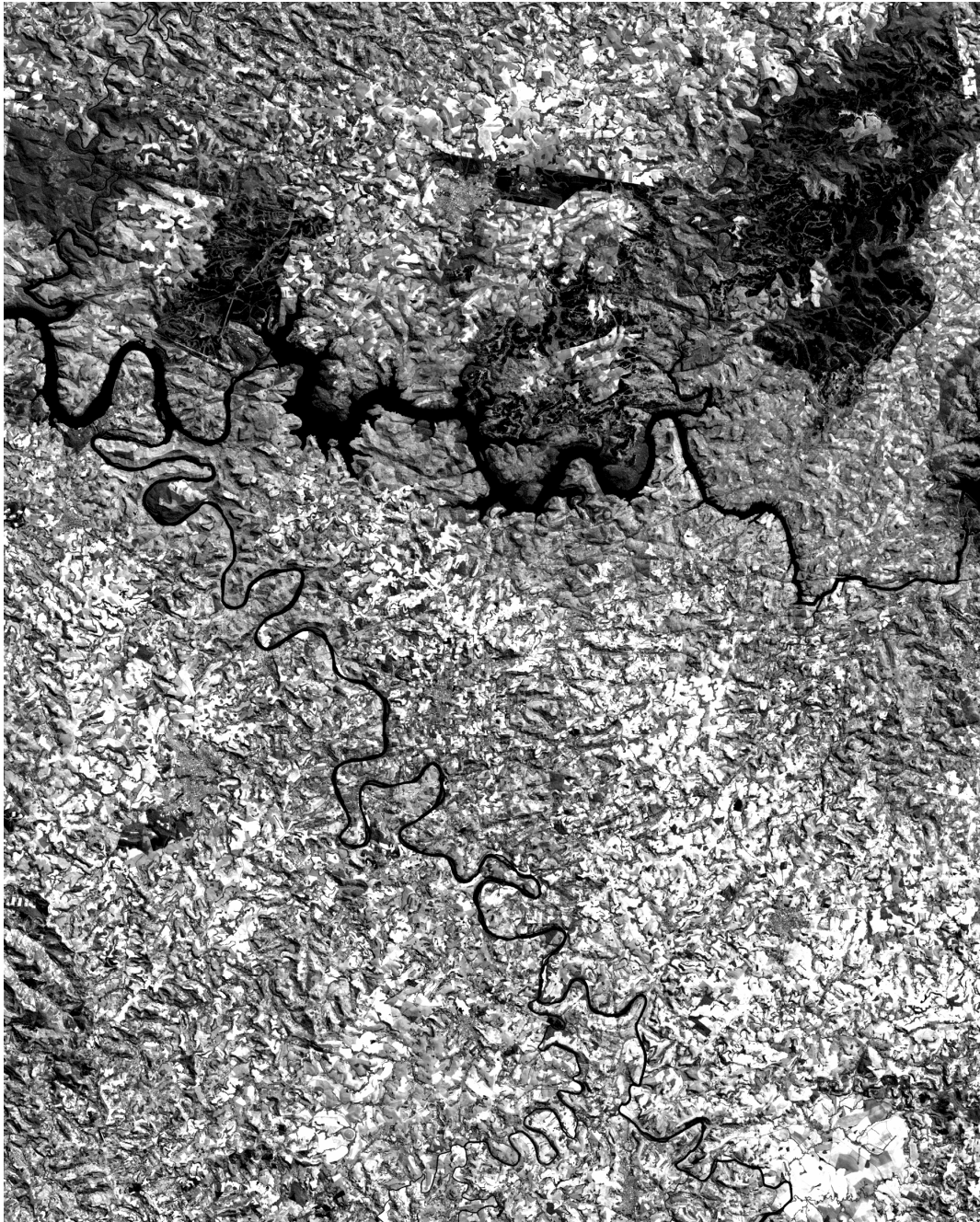
Banda 4 – Ano de 1989



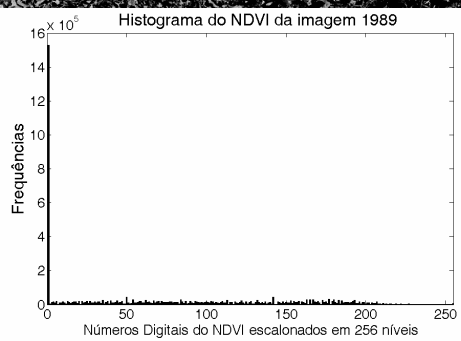
Banda 4 – Ano de 2009



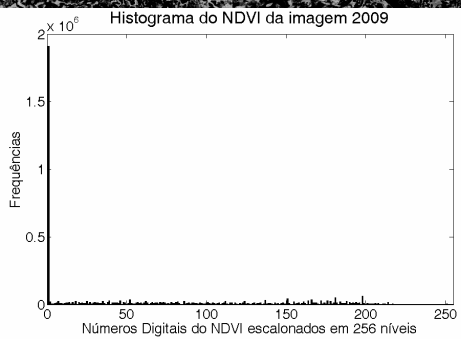
Banda 5 – Ano de 1989



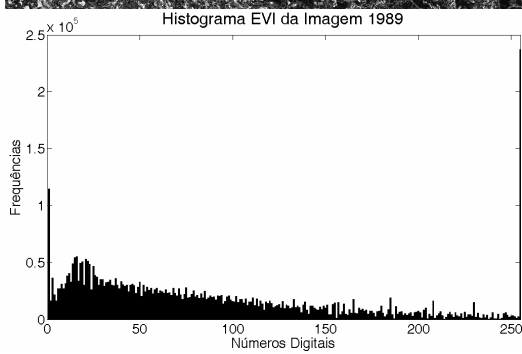
Banda 5 – Ano de 2009



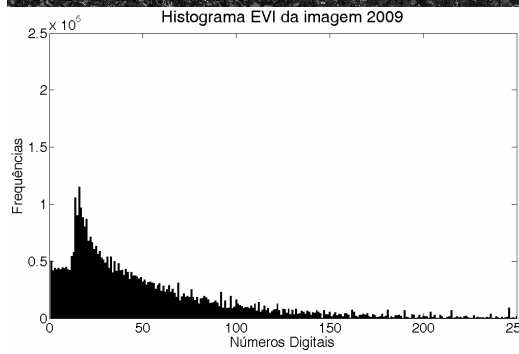
NDVI – Ano de 1989



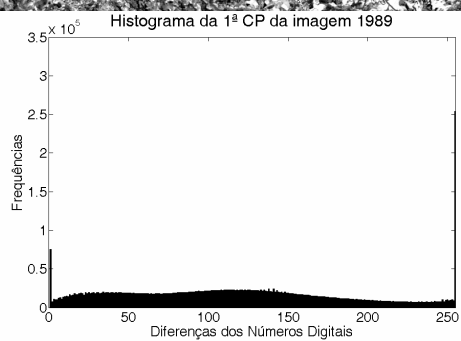
NDVI – Ano de 2009



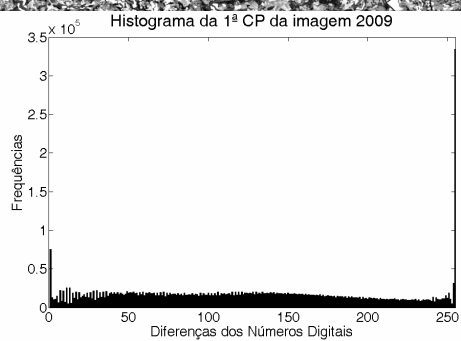
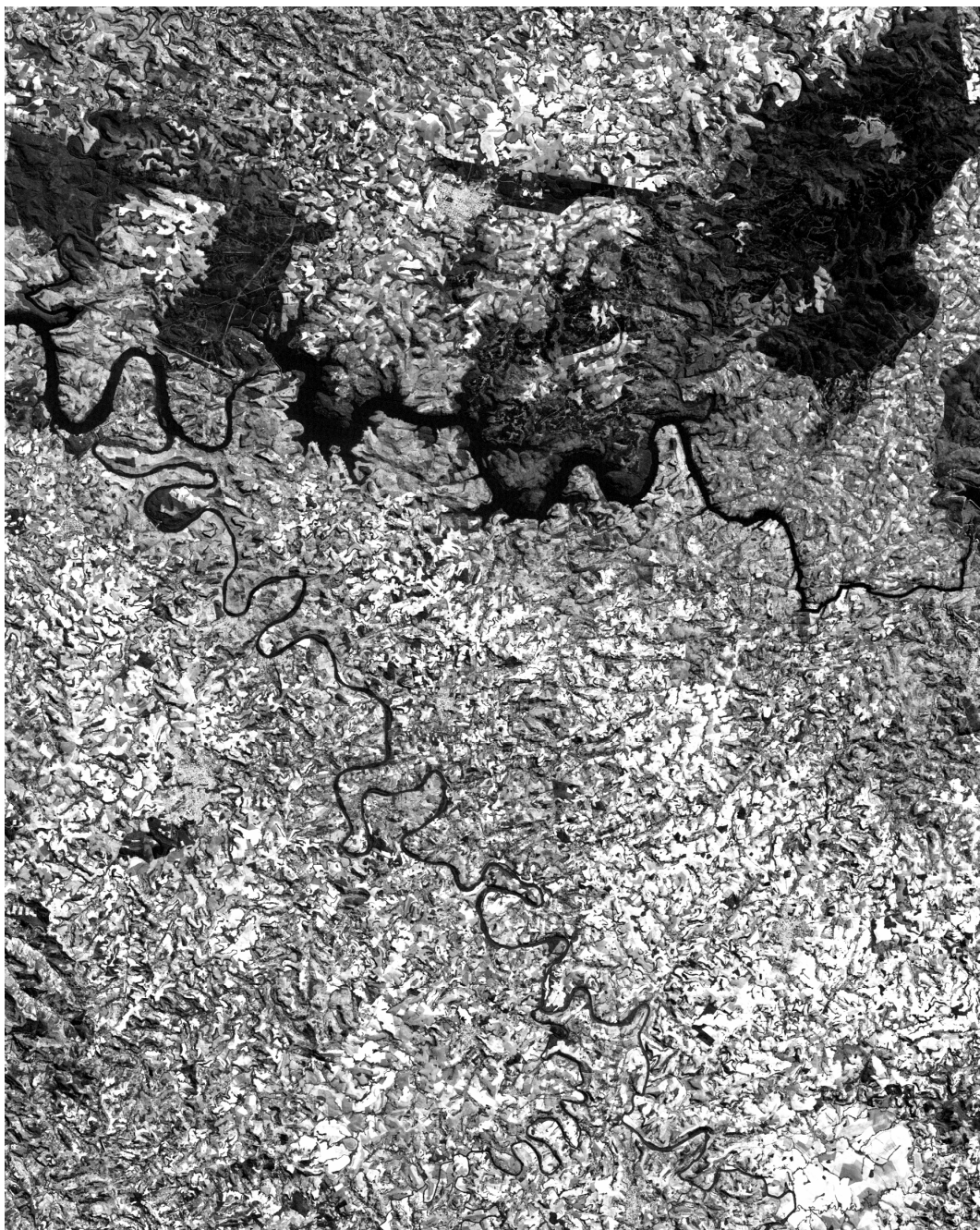
EVI – Ano de 1989



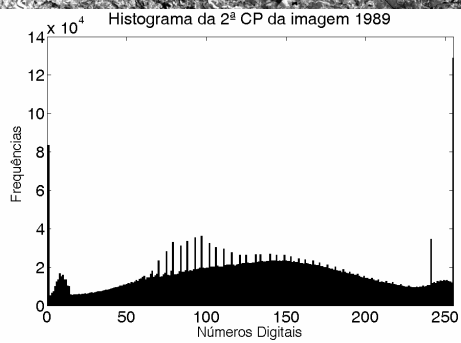
EVI – Ano de 2009



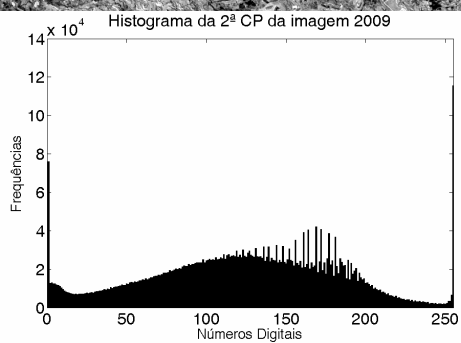
1ª Componente Principal – Ano de 1989



1ª Componente Principal – Ano de 2009



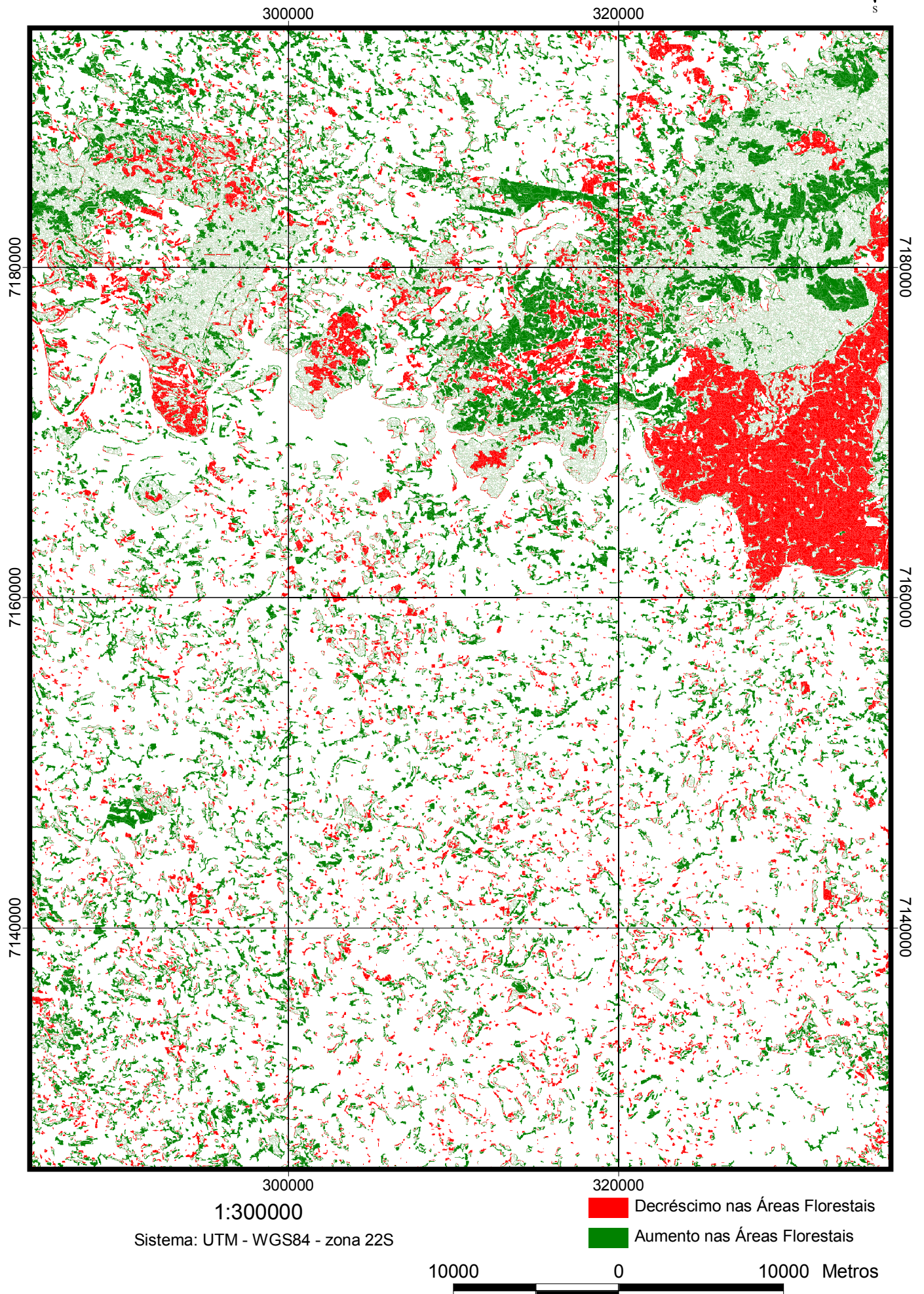
2ª Componente Principal – Ano de 1989



2ª Componente Principal – Ano de 2009

ANEXO 2 – MAPA TESTEMUNHA DAS MUDANÇAS NA COBERTURA
FLORESTAL

Mapa Testemunha das Alterações na Cobertura Florestal 1989 - 2009



ANEXO 3 – ROTINA PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS

```
% Rotina para abrir os arquivos de texto  
clear;  
inserir_amostras;  
% Rotina para calculo dos parametros da reta  
reta;  
%Rotina para abrir as imagens  
abrir_imagem;  
%Rotina para criação da matriz com as distâncias  
matriz_dist;  
%Rotina para classificação da imagem com base nos desvios padrões  
class_imagem;
```

```
%Inserir arquivo.txt em vetores para as duas datas (com as amostras das classes de  
não mudanças sendo formatado em duas colunas com os valores D1 e D2)
```

```
%Cálculo dos parâmetros da equação da reta
```

```
%Leitura das imagens de satélite das datas avaliadas
```

```
%Fazer o programa percorrer as duas imagens, armazenar o valor do pixel e  
%Calcular a distância em relação a reta ajustada acima
```

```
%Definição das classes para classificar a imagem das distancias com base no desvio  
padrão calculado para cada análise
```

